CHEERS
湛庐

基因之河

科学大师书系

《自私的基因》作者
著名进化生物学家
道金斯的经典之作

[英]
理查德·道金斯 著
Richard Dawkins
魏薇 译

River out of Eden

A Darwinian View of Life



浙江人民出版社

VISIT...

LANZAROTE Caliente.COM

版权信息

本书纸版由浙江人民出版社于2019年10月出版

作者授权湛庐文化（Cheers Publishing）作中国大陆（地区）电子版发行（限简体中文）

版权所有·侵权必究

书名：基因之河

著者：理查德·道金斯

电子书定价：62.99元

River out of Eden: A Darwinian view of life / by Richard Dawkins.

Copyright 1995 by Richard Dawkins.

Published by Basic Books,

A Member of the Perseus Books Group

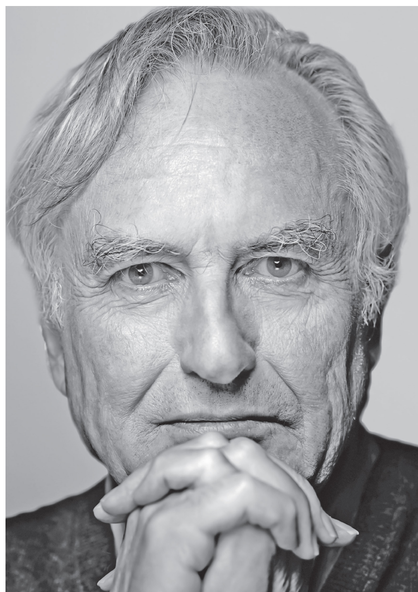
All rights reserved

理查德·道金斯
RICHARD DAWKINS

著名进化生物学家

《自私的基因》作者

英国皇家科学院院士



著名进化生物学家

1941年3月，道金斯出生于肯尼亚首都内罗毕，他在非洲马拉维湖畔度过了一段无忧无虑的童年时光。1954—1959年，道金斯进入中学学习，在中学的最后阶段，他选择抛弃宗教信仰，成为无神论者。

在随后的日子里，道金斯喜欢上了阅读，并在1959—1967年进入牛津大学贝利奥尔学院就读。在跟随简·丁伯根教授攻读硕士研究生学位期间，他的研究主题是“动物行为是与生俱来的还是后天习得的”。从大学起，道金斯就对研究动物行为及进化产生了浓厚的兴趣。

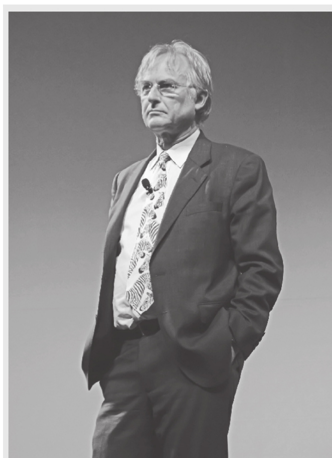
道金斯还曾深入巴拿马运河上的巴罗科罗拉多岛，近距离观察当地的生物多样性。他也曾两次探访加拉帕戈斯群岛，追寻达尔文的足迹。



《自私的基因》作者

1976年，道金斯出版了自己的第一部个人专著《自私的基因》，上市之后引发了强烈反响，好评如潮，吸引了包括BBC在内的多家媒体的关注。

在《自私的基因》一书中，道金斯引入“生存机器”一词，用以讲述（终有一死）的生物个体与（可能永生不朽的）基因之间的角色与关系。他提出，“在更替的过程中，基因不会被毁灭，它们会不断向前进，变化的只不过是身边的同伴，基因是复制因子，而我们是它们的生存机器，当我们完成使命之后，就会被遗弃，而基因则是地质时期的常驻民：基因是永存的”。



《自私的基因》出版几个月之后，BBC著名制片人彼得·琼斯邀请约翰·梅纳德·史密斯制作了同名纪录片。纪录片的播放对书籍的销售起到了很大的推动作用，吸引了大批读者。书中运用的丰富写作技巧向普通读者介绍了当时新出现的进化论思想中深奥的面向，可以说，关于基因，没有人能比道金斯写得更好。

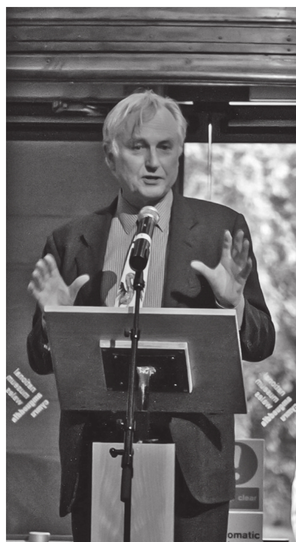


英国皇家科学院院士

1990年，道金斯获得牛津大学正式教授名誉。1995年，在查尔斯·西蒙尼的赞助下，道金斯成为牛津大学“西蒙尼公共科普教授”，向大众普及科学知识。他也曾担任英国皇家学会法拉第奖的评委，并出任英国科学协会主席。2004年，牛津大学贝利奥尔学院设定了“道金斯奖”用以表彰对珍稀物种的生态和行为研究有重大贡献的人士。

因在进化研究和向公众普及科学知识方面的突出成就，道金斯入选代表英国最高学术水平的英国皇家科学院院士。

2013年，《前景》杂志举办“伟大思想家”评选，道金斯名列第一。直至今天，道金斯仍然活跃在文坛，创作了《盲眼钟表匠》《道金斯传》等多部畅销作品。《基因之河》也是他向公众普及生物学常识的一次尝试，从中我们可以看到他作为一位充满激情的科学启蒙主义者的一面。



作者演讲洽谈，请联系
speech@cheerspublishing.com

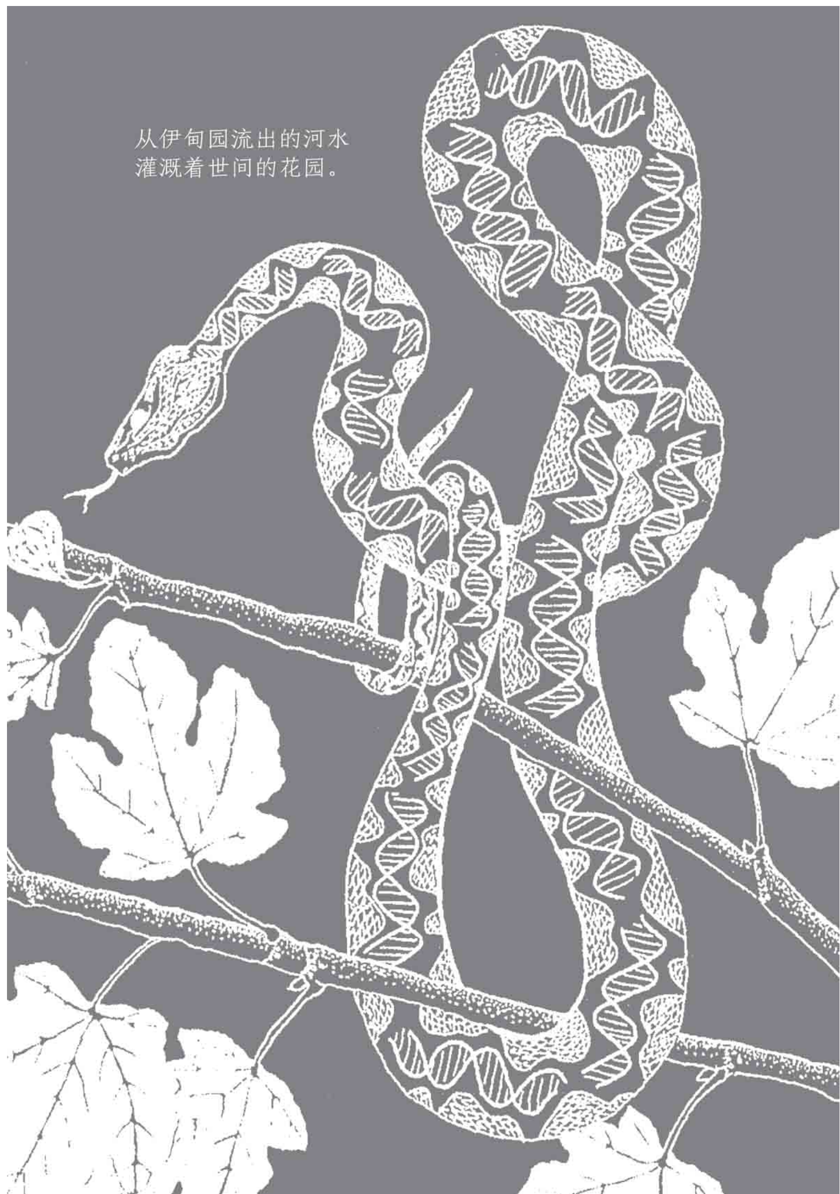
更多相关资讯，请关注



湛庐文化微信订阅号

湛庐CHEERS 特别制作

谨以此书纪念牛津大学圣约翰学院教授亨利·道金斯（1921—1992），一位明断事理的大师


从伊甸园流出的河水
灌溉着世间的花园。



扫码获取“湛庐阅读”App，
搜索“基因之河”，
带你了解道金斯的科学家养成之路！

> 在大自然这个通俗的名字之下，数十亿的粒子在玩着它们无尽的游戏。
>
> ——皮特·海因

皮特·海因（Piet Hein）寥寥几字便生动地描绘出了未经打扰的物理世界的经典特征。当原子粒子在翻腾旋转间碰巧构成了一个具有某种特质的物体时，宇宙间便发生了一件大事。该物体拥有自我复制的能力，也就是说，这个物体能够利用周围的物质制作出和自身一模一样的拷贝，就连某些偶尔出现的小缺陷都原样复刻。自从这件大事发生之后，宇宙中的任何地方都遵循着达尔文的自然选择理论，也就有了这颗星球上我们称之为生命的异彩纷呈的盛世。没有哪个理论能像达尔文主义这样，用如此之少的假设去解释如此之多的事实。达尔文主义不仅拥有超级强大的解释力，而且还能在解释过程中一语道破真相，又带有某种刚健的简洁之美，就连最令人震撼的世界起源传说，也无法与这种诗意的美感相提并论。我写作本书的目的之一，就是让读者认识到对达尔文主义生命观的现代理解之中所蕴含的启迪力量。线粒体夏娃（Mitochondrial Eve）[(1)] 比神话传说之中的夏娃蕴含着更加广博的诗意。

借用大卫·休谟（David Hume）的话说，生命最能“让所有思考过这一主题的人们为之心驰神往”。而生命的特征，就是达尔文所谓的那些“拥有极致完美与复杂度的器官”所具备的机制及其复杂细节所履行的目标。地球生命的另一个令人震撼的特征，就是其奢华壮丽的多样性：从物种数量来看，当前的生物种类数以千万计。我还想告诉读者的是，“延续生命的方式”与“将DNA代码文本传递到未来的方式”说的是同一件事。书名之中的“河”，是一条DNA之河，自地质时代以来一直潺潺流淌，分支分流。而限定每一物种遗传博弈的“陡峭河岸”这一比喻，也具有意想不到的强大解释力。

我的所有著作都专注于达尔文主义理论原则，从诸多角度对其无

穷无尽的力量进行深入阐释和探讨。只要有足够的时间供原始自我复制的结果展现出来，这股力量就会释放、爆发。本书将继续这一使命，并将线索引向外太空，讲述将复制因子注入貌似不起眼的原子粒子活动之中，会发生怎样的后续事件。

在本书的写作过程中，我有幸获得了来自各方面的支持、鼓励、建议和建设性批评意见，在此感谢迈克尔·伯基特（Michael Birkett）、约翰·布罗克曼（John Brockman）[2]、史蒂夫·戴维斯（Steve Davies）、丹尼尔·丹尼特（Daniel Dennett）[3]、约翰·克雷布斯（John Krebs）、萨拉·利平科特（Sara Lippincott）、杰里·莱昂斯（Jerry Lyons）。尤其要感谢我的妻子拉拉·沃德（Lalla Ward），书中的插图是由她绘制的。书中部分内容摘自已出版的文章，某些段落经过简单调整。第1章中关于数字和模拟的段落，是我于1994年6月11日发表在《旁观者》杂志上的文章为基础写下的。第3章中关于丹·尼尔森（Dan Nilsson）和苏珊娜·佩尔格（Susanne Pelger）就“眼的进化”而展开的研究讨论的段落，部分摘自我于1994年4月21日发表在《自然》杂志的“新闻与观点”栏目中的文章。我已就此事专门告知两家杂志社负责上述文章的编辑。我还想要真诚地感谢约翰·布罗克曼和安东尼·奇塔姆（Anthony Cheetham）邀请我加入“科学大师系列”图书的撰写。

目 录

序言
01　数字之河
02　非洲人及其后代
03　循序渐进
04　效用函数
05　复制炸弹



RIVER OUT OF EDEN

A Darwinian View of Life

01 数字之河





关于自己的部落祖先，每个人都听说过一些相应的神话传说，而这些神话传说也常常以宗教信仰的形式表现出来。关于祖先，人们满怀敬仰与崇拜。这也在情理之中，因为他们敬仰和崇拜的是掌握着生命之钥的曾经切实存在过的祖先，而非超自然神灵。所有降生于世的有机体，绝大部分都消亡在未能享尽此生之时。只有少部分幸存下来并完成繁衍，而其中只有极少部分能够千秋万代。这少数中的极少数者，这些先世精英，便是未来世代所称的祖先。祖先甚为珍稀，而后代则不足为奇。

所有曾经存在于世的有机体，每一只动物，每一株植物，所有的细菌和真菌，每一个能运动的生命，每一位本书的读者，都能回望自己的祖先，骄傲地宣称：他们的祖先没有一位在幼时离世。他们的祖先都长至成年，而且每一位都找到了至少一位异性伴侣，成功交配（严格来讲，也可能存在例外情况）。有些动物是无性繁殖的，譬如蚜虫。人工授精等技术使得现代人类可以在不进行交配的情况下怀孕生子。而且，由于试管授精所用的卵子可以从雌性卵巢中提取出来，人们甚至无须长至成年便可拥有后代。但在大多数情况下，上述说法是毋庸置疑的。他们的祖先中，没有一位在生下孩子之前被敌人打倒，被病毒夺去生命，或是失足掉下悬崖。人类祖先那成千上万的同辈，都因为种种原因而早早殒命，但现有人们的祖先中，没有任何一位被上述任何一个原因所困。很多事情既在意料之中，又难以理解，既清晰可辨又让人惊叹。所有这些，都是本书想要讨论的话题。

由于有机体的全部基因都遗传自祖先，而非祖先那些未能成功繁衍后代的同辈，因此所有有机体都倾向于拥有那些自带成功特质的基因。这些有机体天生便拥有成为祖先的本事，也就是说，它们善于生存繁衍。这也是为什么有机体倾向于遗传的那些基因，都有能力构建出一部设计精良的“机器”——一具积极工作、不停努力成为后代祖先的躯体。这就是鸟儿如此善于飞翔，鱼儿如此善于游动，猴子如此善于攀爬，病毒如此善于散播的原因。这就是我们热爱生命、热爱孩子的原因。因为所有人继承的所有基因，都来自从未中断过的一连串的成功祖先，毫无例外。这个世界充满了有能力成为后代祖先的有机体。而这样的现实，简而言之，就是达尔文主义。当然，达尔文的理

论远超于此，如今我们也只是站在巨人的肩膀上，而本书的讲述才刚刚开始。

关于上一段落，有一种貌似合理、实则错误的理解方式。有人认为，当祖先成功繁衍，它们传递给儿孙的基因便由此获得了升级，超越了它们从父母处获得的基因。它们的成功对基因发挥了某些作用，而这就是为什么它们的后代如此善于飞翔、遨游、求偶。错，大错特错！基因不会在发挥作用的过程中得到提升，它们只是得到了继承，除了某些非常罕见的随机错误之外，基因根本不会发生变化。并不是成功塑造了优秀的基因，而是优秀的基因造就了成功。个体终其一生做过的所有事情，都不会对其基因产生丝毫的影响。生而具有优秀基因的个体，是最有可能成长为后代的成功祖先的。因此，优秀的基因更有可能被继承到未来。每一代都是一道过滤、一个筛子：优秀的基因容易穿过筛子，进入下一代；拙劣的基因容易留存在早年离世的个体身上，或是那些没有繁殖的个体身上。拙劣的基因也许会因为运气好，与优秀的基因共存于同一个躯体之内，闯过一两个世代的过滤。但是，若想成功闯过数千道连续不断的过滤，不能只靠运气。在数千个连续的世代之后，依然存在的基因大概率是优秀的基因。

我说过，世世代代之后依然存在的基因，将是那些有能力成为后代祖先的基因。这是事实，但有一个明显的例外情况必须在此指明，以免日后给读者带来困扰。有些个体没有生育能力的状态是无法逆转的，但是，它们生而具备的使命却是为了协助将自身基因继承到未来世代。蚂蚁、白蚁、蜜蜂、黄蜂之中的工蚁和工蜂都没有生育能力。它们终日劳作，不是为了自己成为祖先，而是为了让具有繁殖能力的兄弟姐妹成为后代祖先。在此有两点需要强调。第一，任何物种的兄弟姐妹之间都有很大概率共享相同的基因。第二，某只个体白蚁究竟会成为拥有繁殖能力的蚁后，还是成为不具备生育能力的工蚁，取决于环境，而非基因。所有的白蚁身上都具备在某些环境条件下将自身转化为无生育能力的工蚁的基因，以及在另一些环境条件下令自身拥有繁殖能力的基因。而负责繁殖的白蚁在工蚁的帮助下，也会将同样的基因拷贝继承下去。在基因力量的影响下，工蚁不知疲倦地卖命干活，而同样的基因也存在于负责繁殖的白蚁体内。这些基因中的工蚁

拷贝都在努力协助拥有繁殖能力的白蚁拷贝穿过世代之筛。白蚁工蚁雌雄皆有，而蚂蚁中的工蚁以及蜜蜂和黄蜂中的工蜂都是雌性。除此之外，大原则都相同。同样的原则也适用于几种鸟类动物、哺乳动物和其他动物，这些动物中年长的哥哥姐姐都会在某种程度上照料年幼的弟弟妹妹。总的来说，基因可以通过迂回路线穿过世代之筛，协助自身成为后代祖先，也能协助有亲缘关系的个体成为后代祖先。

本书书名中谈到的“河”，是一条DNA之河。这条河在沿着时间之岸缓缓流淌。这是一条信息之河，而非血肉之河，是一条充满关于躯体构造的抽象指示的河流，而非由肉身构成的河流。信息经由躯体，对躯体产生影响，但在路过之时，却不会受到躯体的影响。这条河不仅不会受到其流经的一连串躯体在生命中获得的经历和成就的影响，而且也不会受到表面看来极其强大的潜在污染源——性的影响。

在你体内的每一个细胞之中，有一半来自你母亲的基因与一半来自你父亲的基因。母系基因与父系基因亲密无间的合作，造就了如今这个极为精妙且浑然一体的你。基因本身不会融合，只有基因带来的影响会发生融合。基因本身带有一种稳如磐石的完整性。当继承到下一代的时刻到来，某个基因要么进入后代的体内，要么不进入。父系基因和母系基因不会融合，而会彼此独立地进行重组。你体内的某个基因要么来自父亲，要么来自母亲。同时，这个基因也来自你4位祖辈中的一位，来自你8位曾祖辈中的一位且只有一位，以此类推。

除了用基因之河作为比喻，我们也完全可以将基因比喻成一群穿越地质时间的好伙伴。长期来看，一个繁殖种群的所有基因都是彼此的伙伴。短期来看，基因存在于个体之内，与共处一体的其他基因获得了暂时的亲密关系。基因只有善于构建优秀的躯体，令其善于以该物种选择的特定生活方式生息繁衍，才能穿越漫长的时间长河留存下来。为了生存，某一基因必须善于与同一物种（同一条河）的其他基因合作。不同物种的基因存在于不同的河流之中。不同物种的基因不必合作，至少是不必紧密合作，因为它们无须共享同一具躯体。

区别某一物种的依据就是，任一物种的所有成员体内都流淌着同一条基因之河，某一物种的全部基因要准备好成为彼此的好伙伴。当现有物种分裂成两个不同物种时，新的物种便出现了。随着时间的推

移，基因之河会出现分岔。从基因的角度来看，物种形成（speciation）是“一场漫长的告别”。经过短暂的分离，两条河流便会各自独立，各自流淌，直到逐渐干涸，渗入沙地。在河岸的限制之下，河水通过有性重组，不断混合再混合。但河水绝不会涌出河岸，污染到其他河流。在物种分化之后，两套基因便不再彼此为伴。它们再也不会在同一具躯体之内相遇，也无须彼此合作。它们也不会再发生交叠，这里所说的交叠，是指它们的临时载体，即容纳基因的躯体之间发生的性交。

物种为何会产生分化？是什么启动了基因的漫长告别？又是什么促使一条河流产生分支，形成渐行渐远、永不交汇的支流的？具体原因饱含争议，但无人质疑的一点是，其中最重要的因素是偶然发生的地理分隔。基因之河随着时间不断流淌，而基因的重组发生在活生生的躯体之中。躯体会占用空间中的某个位置：北美灰松鼠如果有机会遇到英国灰松鼠，也许有能力与之交配繁衍，但它们相遇的可能性很小。北美灰松鼠的基因之河已经与相隔4 800公里大洋之外的英国灰松鼠形成了分化。事实上，虽然在假设的条件下，两队基因仍然有能力在恰当的时机成为好伙伴，但事实上它们已经不再彼此为伴。它们已经告别了，虽然这次告别目前来看并非无可挽回。再经过数千年的分离，两条河流就可能过于疏远，就算两种松鼠相遇，它们也不再有能力交换基因。这里所说的疏远，并非指空间上的疏远，而是指彼此相容能力上的疏远。

这类事件，几乎可以肯定与灰松鼠和红松鼠的分离有一定的关联。后者之间无法实现异种交配。在欧洲的某些地方，灰松鼠和红松鼠的活动范围有重合，虽然它们会相遇，很可能有时还会因为抢夺坚果而彼此敌对，但它们已经无法交配，更无法产下拥有繁殖能力的后代。它们的基因之河彼此太过疏远，也就是说，它们的基因不再适合在同一具躯体之中彼此合作。许多世代之前，灰松鼠的祖先和红松鼠的祖先是同一个个体。但后来，它们在地理上产生了分隔，也许是隔了一条巨大的山脊，也许是一条宽阔的河流，最终则演变成了大西洋，而它们的基因组合也愈加不同。地理上的分隔致使往日的好伙伴变成了水火不容的敌对者。水火不容的局面进一步深化，此时的道别

便是永远。两条河流分离开来，命中注定渐行渐远。同样的故事也发生在人类祖先和大象祖先在久远的过去互道的永别上，发生在鸵鸟祖先和蝎子祖先的永别上。

如今，DNA之河拥有约3 000万条支流，这也是地球现存物种的估计数量。也有估计称，现存物种数量占据所有曾经存在过的物种数量的1%。由此推算，基因之河总共有过约30亿个分支。如今的3 000万条支流，都发生过不可逆转的彼此分离。其中许多支流注定会消失，因为大多数物种都会走向灭绝。如果你沿着这3 000万条支流回到过去就会发现，一条接一条的河流会与其他河流交汇。人类的基因之河汇入黑猩猩的基因之河的时间，与大猩猩的基因之河汇入的时间相仿，都发生在约700万年前。往前追溯几百万年，黑猩猩的基因之河会汇入非洲古猿的基因之河。再往前追溯，我们可以看到长臂猿基因之河汇入进来。而长臂猿基因之河在流淌的过程中，又在下游形成了几个不同的长臂猿和合趾猿物种。继续向前追溯，我们可以看到人类的基因之河与其他河流融汇。这些河流在流淌之中形成了欧洲猴、美洲猴以及马达加斯加狐猴。再往前，人类基因之河与那些后来发展成为其他主要哺乳动物的河流相汇，包括啮齿类动物、猫科动物、蝙蝠和大象。之后，我们会遇到后来发展出各类爬行动物、鸟类、两栖动物、鱼类和无脊椎动物的河流。

关于河流的比喻，有一点需要我们特别关注。当我们想到所有哺乳动物的河流，而不是像灰松鼠等具体动物的河流时，很容易将这条河流想象为一片宽阔的水域，犹如密西西比河或密苏里河那样浩渺无垠。毕竟，哺乳动物的基因之河注定要分岔再分岔，直到形成所有的哺乳动物，从俾格米人到大象，从地下的鼹鼠到树冠顶端的猴子。哺乳动物的基因之河注定要为成千上万条的重要水路提供给养，又怎么能不是一条宽阔壮丽、波涛汹涌的大河呢？但事实是，我们脑海中的这个画面大错特错。当全部现代哺乳动物祖先的基因之河与非哺乳动物的基因之河分岔时，这一事件的壮观程度，并不甚于其他任何一次物种形成。在当时历经此事的任何一位博物学家都不会有丝毫察觉。新的基因之河分支很可能就是一条涓涓细流，是某个不起眼的小型夜行动物和它那非哺乳动物表亲之间的差别，就像灰松鼠和红松鼠之间

的差别一样，并不显著。我们只有在事后回顾时，才能看出哺乳动物的祖先是一只哺乳动物。在那段日子里，它可能就是某种貌似哺乳动物的爬行动物，与其他个头不大、撅着鼻子、靠吃虫子为生的恐龙捕食对象没什么区别。

同样，往前追溯，所有动物大类的祖先的基因之河分岔时也是悄无声息的。后来便形成了脊椎动物、软体动物、甲壳纲动物、昆虫、环节动物、扁虫、水母等。当发展成为软体动物等的基因之河与发展成为脊椎动物等的基因之河分道扬镳时，这两群生物可能（形若蠕虫）极为相似，甚至可以彼此交配。这些物种没有继续交配的唯一原因，就是它们碰巧被地理上的障碍间隔开来，比如干旱大陆将之前连成一体的水域分成了两片。没人能猜到，其中一群生物会发展成软体动物，另一群会发展成脊椎动物。两条基因之河还是尚未一刀两断的小溪流，两群动物也基本上没什么区别。

动物学家对此了如指掌，但他们在思考譬如软体动物和脊椎动物等真正的动物群体时，有时会淡忘这一点。他们会认为，主要的动物类别在分岔之时都会上演一场大戏。造成这一错误观念的原因在于动物学家在成长过程中都被灌输了一种坚定的信念，认为动物界的几大分支都充满了某种深刻的、独一无二的特性，用德语讲，就是“bauplan”。虽然这个词的字面意义是“蓝图”，却被学界当作了一个专有名词，以至于我虽然未能从最新版牛津词典中查到这个词（并因此感到颇为震惊），但也一直认为这是个英文单词。从专业角度来讲，bauplan经常被翻译为“基本设计”。“基本”一词的使用（或引用德语词汇以故作深奥）是灾难的源起，因为这样的说法很可能导致动物学家犯下严重的错误。

举例来说，一位动物学家曾提出，寒武纪时期（距今6亿年到5亿年前）的物种一定有着某种与后来的进化完全不同的发展过程。他的理由是，现如今是新物种不断出现，而寒武纪时期是诸如软体动物和甲壳纲动物等大类物种集体出现。其中的谬误简直晃瞎人眼！就连软体动物和甲壳纲动物这类彼此之间差异甚大的生物，最初也是同一物种因地理原因分隔开来的产物。在一段时间里，它们若彼此相遇，依然可以实现异种交配，但事实上并没有相遇。经过成百上千万年的各

自进化，它们获得了各自的特征，使得现如今的动物学家在回望历史时，能分别将其认定为软体动物和甲壳纲动物。这些特征被冠以“基本设计”或“bauplan”这样的光环，但动物界的主要蓝图还是逐渐从同一个源头分岔后分别进化而来的。

的确，关于进化究竟在何种程度上展现出渐进式或跳跃式发展，还存在一个小分歧。但从未有任何人认为，进化的跳跃式发展能一步创造出一个完整而崭新的蓝图。我引述的作者的文章撰写于1958年。如今，没有几位动物学家还会公开支持这一立场，但他们有时依然在含蓄地表达这种观点，仿佛动物的大类都是突然间以完美形态降生的，就像雅典娜从宙斯头中婀娜而出，而不是古老种群因偶然的地理分隔而发展出来的分岔。

无论怎样，分子生物学研究都已证实，几大动物类别之间的关系比我们以往认为的更加亲近。你可以将遗传代码看作一部由64个单词构成的一种语言的词典（这种语言共有4个字母，排列组合成64个由3个字母组成的单词），与另一种由21个单词构成的语言相区别（20个氨基酸外加一个标点符号）。随机实现64：21对照组两次的概率，比100万亿亿亿分之一还要小。然而，研究显示，遗传代码在所有人类研究过的动物、植物和细菌之中都是相同的。这片土地所养育的生命的确来自同一祖先。没有人会质疑这一点，但当人们不仅研究代码本身，而且研究遗传信息的具体顺序时，会在譬如昆虫和脊椎动物之间找到惊人的相似之处。有一套非常复杂的遗传机制专门负责编码昆虫的节状肢体，而我们在哺乳动物体内也发现了极其类似的遗传机制。从分子角度来看，所有动物之间都有着很近的亲缘关系，甚至动物和植物之间也并不远。我们要追溯到细菌才能找到人类的远亲，但即使是细菌，其遗传代码本身也与人类无异。之所以有可能对遗传代码进行精确计算，而无法对蓝图进行精密剖析，是因为遗传代码完全是数字化的，而我们可以对数字进行毫厘之间的计算。基因之河是一条数字之河，现在我有必要在此对这一工程词汇进行解释。

工程师对数字代码和模拟代码进行了重要的区分。留声机和录音机，还有后来出现的电话，使用的都是模拟代码。压缩磁盘、计算机以及绝大多数现代电话系统，则使用的是数字代码。在模拟电话系统

中，不断波动的空气压力波（声音）被转换成为电线中相应不断波动的电压力波。留声机唱片也利用了类似的方式：波纹槽令唱针产生波动，唱针的运动被转换成为相应的电压波动。在另一端，通过电话听筒或留声机扩音器中的振动膜，电压力波又被转换回来，成为相应的空气压力波，于是我们就听到了声音。这里的代码简洁明了：电线中的电波与空气压力波成比例。在某个限度之内，所有可能存在的电压都能顺着电线传下去，而电压之间的区别便产生了效果。

数字电话中只有两个可能存在的电压，或是诸如8或256等代表可能存在的电压的某些离散数字，能顺着电线传下去。信息并不存在于电压本身，而是在离散电平的结构之中，我们称之为脉冲编码调制。任何时间的实际电压，都不太可能精确地等同于比如“8”等表面数值，但接收端装置会将其归类到最贴近的指定电压上。由此，另一端出现的内容便是几近完美的，虽然传输过程可能略为混杂。你需要去做的就是将离散电平设置得足够离散，这样接收装置就不会理解错误。这就是数字代码的好处，也是音频和视频系统以及信息技术整体都日益走向数字化的原因。计算机做的每一件事都在依靠数字代码。出于便利的目的，计算机采用的是二进制代码，也就是说，计算机只利用两个水平的电压，而不是8或256。

就算在数字电话中，进入话筒、输出听筒的声音依然采用的是模拟式的气压波动。采用数字方式的是从交换器到交换器之间的信息传输：要设定某种代码，对每一毫秒的模拟值进行翻译，转换成为离散脉冲序列，即数字代码表示的数值。当你用电话对着爱人柔情软语时，每一次微妙婉转，每一次抑扬顿挫，每一次叹息和探求，都是通过数字形式由线路传送过去的。只要数字能以足够快的速度得到编码和解码，你就会被打动得潸然泪下。现代电子转换装置速度极快，线路可被划分为好几个区间，正如象棋大师可以同时与20个人展开车轮大战一样。这就是说，数以千计的对话都能被嵌入同一条电话线路，表面看来是同时进行，从电子层面来看又是彼此分离的，不会相互干扰。中继线（如今的许多中继线已经不是实体线路，而是无线电射线，要么从一个山头直接传输到另一个山头，要么通过卫星传输）无异于数字汹涌的大江大河。但由于实现了独特的电子隔离，一条中继

线就等于数千条数字之河。这些河流只不过共享了表面意义的同一个河岸而已。就像红松鼠和灰松鼠栖息在同一棵进化树上，但它们永远不会交换基因。

回到工程师的世界之中，只要不进行一遍又一遍的复制，模拟信号的缺乏并不是什么大问题。录音磁带上的杂音可能非常之少，让人很难留意，除非你放大音量，但与此同时你也放大了杂音的音量，也带来一些新的噪音。但是，如果你对一盘磁带转录、转录、再转录……经过100“代”之后，你能听到的就只剩下一片嘈杂。在只有模拟电话的时代，这类问题给人们带来了不少困扰。电话信号经过一段较长的线路就会出现衰减，每160千米左右就需要对其进行增强再放大。在模拟信号时代，这是个让人头疼的问题，因为每一个放大过程都会增加背景杂音的比例。数字信号同样需要增强。但是，正如我们之前解释过的原因，增强并不会引入任何错误。通过某些设置，信息就能完美地传送给对方，无论中间需要经过多少次增强。就算传送到千里万里之外，杂音也不会增加。

儿时母亲曾告诉我说，我们的神经细胞就是人体内的电话线路，但它们是模拟的还是数字的？答案是，神经细胞是模拟与数字的有趣混合体。与电子线路不同，神经细胞是一条又长又细的管道。其中，化学物质一波又一波地不断传送，就像一条细长的引线在地上冒着火花前行。与引线不同的是，神经细胞会很快复原，经过很短时间的休息，便可以再次点燃。化学物质的绝对量，即引线的温度，随着其沿神经的前行而不断变化，但这一点无关紧要。代码会无视这种变化，化学物质要么暂停，要么不暂停，就像数字电话中的两个电压电平一样。从这个角度来看，神经系统是数字化的。但是神经脉冲并不会被强制转化成为字节，不会被整理成为离散的编码数字。信息的强度，比如声音的大小、光线的明暗，甚至还包括情绪的激烈程度都会被编码成为脉冲频率。工程师称之为脉冲频率调制，在脉冲编码调制被广泛采纳之前很受欢迎。

脉冲频率是模拟的，但脉冲本身是数字的：要么有脉冲，要么没有脉冲，没有中间的选择。神经系统就像其他数字化系统一样可以从中受益。由于神经细胞的工作机制，人体内存在着相当于放大器的结

构，在这里不是每160千米一座，而是每毫米一座。在从脊髓到手指尖的这段距离中，有800座站点。如果神经脉冲的绝对高度会产生影响，那么信息通过人手臂的长度便会被扭曲得无法识别，更别说经过长颈鹿的脖子了。每一座放大器都会引入更多的随机错误，就像一盘磁带被翻录了800遍，或是一张纸被复印800遍一样。经过800遍的复印，唯一留下的就是一片灰色的模糊暗影。数字编码为神经细胞的问题给出了唯一的解决方案，于是自然选择将其采纳，基因同理。

在我看来，解密基因分子结构的弗朗西斯·克里克（Francis Crick）和詹姆斯·沃森（James Watson）应该像亚里士多德和柏拉图一样受到人们的敬仰，直到千秋万代。他们拿到的是诺贝尔生理学或医学奖，这一点并没有错，但与他们所做的贡献相比，这一奖项不值一提。持续革命这个说法本身有些自相矛盾，但是医学，甚至我们对生命的整体理解，都因为这两位年轻人于1953年掀起的这场革命而持续不断地改头换面。基因本身以及遗传疾病不过是冰山一角。在后沃森-克里克时代，分子生物学真正的革命本质在于其走上了数字化道路。

沃森和克里克之后，我们了解到，基因本身的精细内部结构都是由纯粹数字信息组成的长链条。而且，此处所讲的数字是货真价实的数字，与计算机和压缩磁盘中所谓的数字毫无二致，而不是神经系统中意义牵强的数字。遗传代码并非计算机所使用的二进制代码，也不是某些电话系统所使用的8位代码，而是由4个符号组成的四进制代码。基因的机器代码与计算机极为相似。除了专业术语不同之外，分子生物学杂志中的篇章完全可以与计算机工程学杂志中的内容进行互换。这一数字化革命带来了意义深远的影响，而从生命的核心来看，则是对生机论[4]最终的毁灭性打击。直到1953年，还是有人认为，生命原生质存在某些本质上无法简化的神秘特质，而如今则不存在这种可能性。就连那些曾经满心向往生命机械论观点的哲学家，也不再对实现他们的狂野梦想抱什么期望了。

只要存在一种比如今的技术水平发展更快的新科技，那么下面即将讲述的科幻情节就充满了可能性。吉姆·克里克森（Jim Crickson）教授被外国邪恶势力所绑架，被迫在生物战争实验室工作。为了拯救

人类文明，他必须将一些机密信息传递到外面去，但所有的通信渠道都被控制了。DNA代码包含64个3碱基密码子，足够容纳完整的英文大小写字母，外加10位数字、一个空格和一个句号。克里克森教授从实验室中拿到一些致命的流感病毒，对其基因组进行改造，将他需要传达的信息以正常的英文句型完整地编入其中。在被改造的基因组中，他一遍又一遍地重复着这段信息，并加入了一个非常容易识别的“旗帜”序列，比如前10个质数。之后，他让自己感染上病毒，再跑到一屋子人中间打上几个喷嚏，于是流感疫情便席卷了整个世界。各个国家的医学实验室为了设计出一款疫苗，纷纷开始研究流感病毒的基因组序列。很快人们便发现，其中存在一个不断重复的古怪模式。质数序列让人备感异样，因为这种序列不可能自然生成，于是有人想到了破译代码的技术。走到这一步，距离读懂克里克森教授用喷嚏传向全世界的完整英文信息就只有一步之遥了。

人类遗传系统的核心就是数字化的，而地球上所有的生命都拥有同样的系统。你可以将整部《新约》逐字逐句地编入人类基因组那些目前充斥着“垃圾”DNA的部分之中。垃圾DNA，就是没有被人体利用上，至少是没有被人体以惯常的方式利用上的DNA。你体内的每一个细胞都包含着46条容量巨大的数据带，通过数个同时运转的读数头不断传送着数字字符。每个细胞内部的数据带——染色体，都包含着同样的信息，但不同类型细胞中的读数头则会根据自身的特定目的而选择数据库中的不同部分，这也是肌肉细胞和肝细胞有所不同的原因。不存在靠神灵牵引的生命力量，没有悸动的、起伏的、凝聚的、原生质的、神秘而不可思议的凝胶，生命不过是由一个又一个字节组成的数字化信息。

基因是纯粹的信息，可进行编码、重编码、解码，而不会发生退化或意义改变。纯粹的信息是可经复制的，因为是数字化信息，所以保真度极高。DNA字符复制的准确程度远超现代工程师的最高水平。DNA通过复制世世代代沿袭下来，偶尔会出现错误，并通过这种方式引入变化。在变化之中，数量更多的编码组合在被解码并在体内被执行时，会自动让躯体采取积极行动，使同样的DNA信息进行保留和增殖。如今看来，达尔文主义就是适者在纯粹数字代码层面的生存。

现在回头想想，也不可能出现其他情况。假设存在一个模拟遗传系统，我们已经了解到，模拟信息在一连串的拷贝再拷贝之后会发生什么样的情况。这无异于一场传话游戏，无论是增强的电话系统，还是转录的磁带、复印件的复印件，模拟信号都是如此不堪一击，而累积的衰减只能令这种模式持续有限的世代。而基因就算自我复制1 000万代，也不会出现衰减或退化现象。除了经自然选择去除或保留离散突变之外，达尔文主义之所以能发挥作用，只是因为复制过程无懈可击。只有数字遗传系统才有能力历经久远的地质时间将达尔文主义贯彻下去。1953年是双螺旋元年，这一年不仅标志着生命神秘论和反启蒙主义观点的终结，也是达尔文主义最终走向数字化的起始之年。

想象一下，一条流淌着纯粹数字信息的大河，历经地质时间，一路奔涌向前，形成了30亿条支流，这是一幅多么壮观的场景。但是这条河流是在哪里留下了我们所熟悉的生命特征？在哪里留下了躯体、手臂、眼睛、大脑、胡须、树叶、树干和树根？在哪里留下了人类和我们身体上的各个构线？所有的动物、植物、原生动物、真菌和细菌是否只是供数字化信息河水向前流淌的河岸？从某种意义上讲，答案是肯定的。但又不仅如此。基因不仅仅会制作可以世世代代传递的自身拷贝，而且实实在在地在躯体之中度过一段时光，影响了世世代代为其提供容身之所的躯体的外形和行为。

躯体本身也很重要，举例来说，北极熊的躯体不仅仅是数字河水的河道，也是一部复杂的机器。整个北极熊种群的所有基因是一个集合体，也是一群好伙伴，在时间的历练中彼此陪伴，但它们不会在集合体中所有其他成员的陪伴下度过所有时间。集合体的定义，是有可能遇到集合体中任何其他基因的一套基因，但不会遇到世界上其他3 000万个集合体之中的任何成员。真正的会面永远只能发生在北极熊躯体之中的细胞之内，而这个躯体并非DNA的被动容器。

这些细胞的数量本身就多得令人难以想象：大型雄性北极熊拥有大约90万亿个细胞，每一个细胞内部又有一套完整的基因。如果将一只北极熊身上的细胞进行先后排序，其长度可以轻松地从地球到月球跑一个来回。这些细胞可以分为几百个类型，而对于所有哺乳动物来

说，基本都是同样的几百种类型：肌肉细胞、神经细胞、骨细胞、皮肤细胞等。一种类型的细胞聚集在一起，就形成了组织：肌肉组织、骨组织等。所有不同类型的细胞都包含制造任意一种类型细胞的遗传构造。只有适用于该组织的基因会被打开，这就是为什么不同的组织有着不同的形状和大小。

更有趣的是，某种特定类型的细胞之中被开启的基因会让这些细胞生长成为拥有特定形状的组织。骨组织并非一坨毫无形状的坚韧组织，而是具有特定的形状，拥有中空骨干、球状关节、骨骼和骨刺等。细胞通过其内部被打开的基因而获得编程，从而产生行为，仿佛它们知道自己相较于周边细胞身处何方，也是通过这样的方式，才构建起其自身组织，形成耳垂、心脏瓣膜、晶状体和括约肌。

像北极熊这样的有机体，其复杂性要逐层分析。其躯体是诸如肝脏、肾脏和骨头等拥有精确形状的器官的复杂集合，每个器官是由特定组织构成的复杂结构，而其一砖一瓦则是细胞。细胞常常呈现出层叠结构，也会表现为固体块状结构。从更小的维度上看，每个细胞都拥有高度复杂的折叠膜状内部结构。这些膜状结构以及膜与膜之间的水，酝酿着数类庞杂的精密化学反应。英国帝国化学工业有限公司或美国联合碳化物公司的化学工厂里，可能会同时存在数百种不同的化学反应。这些化学反应通过烧瓶或试管壁彼此分隔。而一个活生生的细胞内部也拥有同时进行的相似数量级的化学反应。从某种程度上来说，细胞膜就像是实验室中的玻璃器皿，但这一比喻并不十分恰当，原因有二。第一，虽然许多化学反应是在膜与膜之间发生的，但还有许多化学反应是发生在膜体之中的。第二，将不同化学反应彼此分隔的是一种更为重要的方式，每种化学反应都需要借助特定的酶来催化。

酶是一种非常大的分子，其三维形状就像一个平台，能加快某种特定类型的化学反应。对于生物分子来说，最重要的就是其三维形状。我们可以将酶视作一个大型机器。这个机器小心翼翼地工作，制作出拥有某个特定形状的分子。因此，任何细胞内部都有可能同时发生着数百种彼此隔绝、各不相同的化学反应，而这些化学反应都发生在不同类型的酶分子的表面。某个细胞会发生哪种特定的化学反应，

取决于当时存在哪种类型的数量充裕的酶分子。每一个酶分子，包括其至关重要的形状，都由特定基因先天注定的影响力所决定。具体来讲，基因中数百个代码字母的序列通过已知的一套规则（遗传代码），决定着酶分子中氨基酸的序列。每个酶分子都是一条线性的氨基酸链，而每一条线性氨基酸链都会同时卷曲成特定的三维结构，就像打了个结一样，使得链条的某些部分与其他部分形成交叉连接。打结的具体三维结构取决于氨基酸的一维序列，也取决于基因编码字母的一维序列。因此，细胞中发生的化学反应取决于被开启的基因。

那么，是什么决定着某个特定细胞中哪些基因被打开呢？答案在于细胞中已经存在的化学物质。这里存在一个“先有鸡还是先有蛋”的悖论，但并非无解。这一悖论的解释虽然在细节上很复杂，但从原则上讲非常简单——计算机工程师所知的引导指令（bootstraping）。我刚刚开始使用计算机时还是20世纪60年代，那时所有程序都需要通过纸带进行装载。在上传某个正式程序的大量纸带之前，先要上传一个叫作“引导装入程序”的小程序。引导装入程序只做一件事：告诉计算机如何装载纸带。“先有鸡还是先有蛋”的悖论在这里就体现出来了，引导装入程序的纸带本身又是如何装载的呢？在现代计算机里，引导装入程序都是预装在计算机里的，但早年间还是需要按照某个特定顺序来手动按下开关。这个顺序会告诉计算机，怎么开始读取引导装入程序纸带的第一部分。随后，引导装入程序纸带的第一部分会告诉计算机怎么读取纸带的下一部分，以此类推。等整条引导装入程序都装载完成，计算机就知道应如何读取纸带，成为一台能真正派上用场的计算机。

胚胎始于受精卵，然后由单一细胞分裂成2个，2个细胞各自分裂成为4个，4个细胞各自分裂成为8个，以此类推。无须很多代分裂，细胞数量就能达到万亿级别，这就是指数分裂的力量所在。但如果仅是如此，那么这几万亿个细胞将全部相同。细胞是如何分化成为肝脏细胞、肾脏细胞、肌肉细胞等的呢？答案就在于引导指令。虽然卵子的表面看起来像个球体，但其内部化学结构中是可以定位的。卵子拥有顶部和底部，在许多情况下，还拥有前部和后部，因此就有了左边和右边。这些位置以化学物质的梯度的形式呈现出来。从前往后移动

时，某些化学物质的浓度会逐渐增加，从上往下移动时，另一些化学物质的浓度会增加。这些化学物质的梯度变化非常简单，但足以形成引导指令操作的第一个阶段。

举例来说，当卵子经过5次分裂，形成32个细胞时，这些细胞中的某几个将比其他细胞拥有更多的顶端化学物质，其他细胞则比这几个细胞拥有更多的底端化学物质。细胞从头至尾的化学物质梯度可能并不平衡，这些不同足以在不同细胞内部触发不同的基因组合。因此，不同组合的酶将存在于早期胚胎不同部分的细胞之中，这就使得不同细胞内部有更多不同的基因组合被开启。由此，细胞谱系开始出现差异，而不会保持与胚胎内部克隆祖先完全一致的模样。

这里所说的差异与我们之前讲到的物种差异完全不同。这些细胞差异都是经过编程的，在细节上可以预期，而物种差异则是地理变迁的偶然结果，无法预期。而且当物种出现差异时，基因本身也会出现差异，也就是我所戏言的“漫长的告别”。当胚胎内部的细胞谱系出现差异时，所有细胞都能接收到相同的基因。但是，不同的细胞会获得不同的化学物质组合，继而开启不同的基因组合，某些基因发挥作用，对其他基因发出开启或关闭的指令。就这样，引导指令继续工作，直到我们拥有一套完整的不同类型的细胞。

胚胎发育不仅是分化成为数百种不同类型的细胞，还会在外部和内部形状上发生简洁的动态变化。其中最具特点的就是早期发生的变化：原肠胚的形成。著名胚胎学家刘易斯·沃尔珀特（Lewis Wolpert）曾这样说过：“人一生中最重要的时刻并非出生、结婚或死亡，而是原肠胚的形成。”原肠胚的形成过程是一个由细胞组成的中空球体，弯曲形成一个带有内层的杯形结构。整个动物王国的所有胚胎都会经历同样的原肠胚形成过程。原肠胚是胚胎变化的统一基础。我在这里提到原肠胚，只是作为一个例子，也是一个颇有喜剧色彩的例子。从中我们可以了解到，胚胎发育过程中整个细胞进行的不知疲倦的、如折纸艺术般的运动过程。

在折纸大师表演结束时，在经历许多次细胞层的对折、突出、凸起、牵拉之后，在动态策划下，胚胎各个部件实现分化生长，在分化形成数百种化学和实质都有所不同的细胞之后，当细胞总数达到万亿

级别时，最终的成果就是一个婴儿。不，就算是成为婴儿，也还没有结束，因为个体的整体生长还要经过成年期、老年期，所有这些都要被看作胚胎发育过程的延伸：全胚胎学。

个体与个体有所不同，因为它们的全胚胎学存在量化细节上的差异。某层细胞在自我折叠之前多长出了一点点，结果就形成了鹰钩鼻，而不是朝天鼻；也有人因此形成了平足。肩胛骨的某个特定形状，会让你擅长投掷长矛、手榴弹或板球。细胞层面的某些个别变化会带来悲剧性后果，比如婴儿天生只有残肢而没有双手。而单纯的化学层面的差异也会产生重要影响：无法消化牛奶、花生过敏，或是认为芒果有种松节油的怪味。

从实体和化学上来讲，胚胎发育是个非常复杂的过程。过程中任何一点上的细节变化，都会对未来产生深远影响。这并不足为奇，想想整个过程需要多么繁重的引导指令便能明白。个体发育方式上的许多不同之处是因为环境差异，比如缺氧、服用致畸形药物“反应停”等。还有许多是由基因造成的，不仅是处于隔离状态下的基因，还包括与其他基因产生互动的基因，以及与环境差异产生互动的基因。胚胎发育这样一个纷繁复杂、需要反复执行精密引导指令的过程，既充满活力，又十分敏感。之所以说充满活力，是因为这个过程有能力对抗许多潜在的变化，阻挡各种看似不可抵御的破坏性力量，产出一个活生生的婴儿。而与此同时，这个过程又对变化十分敏感，因为没有哪两个个体，哪怕是同卵双胞胎，会在所有特征上保持完全一致。

现在，我们来讲讲所有这些内容想要引出的话题。个体差异取决于基因，相关性大小不一，自然选择可以偏好胚胎折叠或胚胎化学中发生的某些古怪情况，而不偏好另一些情况。由于你上下挥舞的胳膊受到了基因的影响，自然选择可以对其产生偏好，也可以不产生偏好。如果投掷东西的能力会对个体生存产生有利影响，令个体可以存活足够长的时间生儿育女，无论这种有利影响多么微不足道，只要胳膊上下挥舞的能力受到了基因的影响，那么这些基因就会拥有更大的机会赢得传递给下一代的机会。任何个体都有可能因为与挥舞胳膊的能力毫不相关的原因而死亡。但是，令个体拥有挥舞胳膊的能力的基

因会存在于许多躯体之中，无论好坏，并延续许多世代。从这个特定基因的角度出发，其他导致死亡的原因会达到某一均衡状态。从基因的角度来说，只有DNA之河世世代代流淌，而当下它们只不过是暂居在某个特定的躯体之内，暂时与其他或成功或不成功的基因伙伴共享一具躯体。

长期来看，这条河中充满了出于各种原因而善于生存的基因：稍稍提升的投掷长矛的能力，稍稍提升的尝出毒素的能力，等等。平均来看，不太善于生存的基因，也许是因为它们会导致后代视力散光，结果令后代在投掷长矛时击不准猎物；也许是因为它们令后代外表不够有吸引力，结果令后代不那么容易找到伴侣，这样的基因就有可能在基因之河中消失。了解到这些内容之后，请记住我们之前讲过的一点：在河流中生存下来的基因就是那些有助于该物种在典型环境中生存的基因。也许，典型环境中最重要的一个方面，就是该物种的其他基因，那些与该基因共享同一具躯体的其他基因，那些穿越地质时间，在同一条河流中流淌的基因。



RIVER OUT OF EDEN

A Darwinian View of Life

02 非洲人及其后代





常常有人认为，科学不过是个现代版的起源神话，这个说法非常聪明。犹太人有他们的亚当和夏娃，苏美尔人有他们的马杜克神和吉尔伽美什王，希腊人有宙斯和奥林匹斯诸神，古挪威人有瓦尔哈拉殿堂。某些聪明人会说，进化论不过是神话传说的现代等价物，并不比之前好，也不比之前坏，并不比之前更真实，也不比之前更虚假。有个非常时兴的沙龙哲学，叫作文化相对论。这种哲学认为，科学并不比部落神话更贴近真理：科学不过是被现代西方偏好的神话。有一次，我在一位人类学家同事的“督促”下，对这一观点发表了见解。我说：“假设有一个部落相信月亮是人们扔到天上去的一个葫芦，其高度只不过比树顶高那么一点点。那你真会认为我们的科学真相——月球距离我们约38.4万千米，相当于地球直径的1/4，比那些部落认为的葫芦更接近真相吗？”“不，”我的同事说，“我们所成长的文化环境使我们习惯于从科学角度来看待这个世界。他们的成长环境则惯于从另一个角度看世界。没有哪个角度比另一个角度更接近真相。”

随便给我找个文化相对论者，离着3万千米开外，我都能向你证实他是个伪君子。人类之所以能建造飞机，就是因为科学原理是有效的。飞机不仅可以飞在天上不掉下来，还可以把人们送到他们想去的地方。以部落或神话传说所提供的观念建造起来的飞机，譬如雨林中的邪教组织制造的飞机或伊卡罗斯用蜂蜡粘上的翅膀，根本飞不起来。（我并非头一次使用这段论证。必须在此强调，这些话仅针对那些像我同事一样对“葫芦理论”表示认可的人。令人迷惑的是，还有另一群自称文化相对论者的人，虽然他们的观点与之前所讲的完全不同，而且完全合理。对他们来说，文化相对论是说如果你想要从自身文化出发去理解其他文化之中的信仰是无法做到的。你需要在该文化信仰构成的大背景下去试图了解文化之中的信仰。我想，这种合理的文化相对论可能是其最初形态。而我所批评的是一种堕落的极端表现，虽然这种极端表现很普遍。这些通情达理的相对论者应该努力将自己与那些愚昧的相对论者划清界限。）

如果你要乘飞机去参加一个人类学或文学批评界的国际盛会，你能顺利到达会场，没有半路掉到麦田里，正是因为许多接受过西方科学培训的工程师在计算过程中万无一失。西方科学以证据为基础，证

明了月球在38.4万千米之外围绕地球旋转，还利用计算机和火箭成功地将人类送往了月球表面。而相信月球就在树顶不远处的部落人只能在梦里才能触摸到月球。

几乎每次公开演讲，观众席里都会有人一脸阳光地站起来提问，说出一些与我那位同事同一个论调的话来，而且还能收到席间一阵阵表示认同的点头和私语。毫无疑问，点头者会自我感觉良好，认为自己思想自由，毫无种族偏见。而能引发强烈共鸣的往往是这样一些话：“从本质上讲，进化论也是一种信仰，因此也并不比相信伊甸园的人强到哪儿去。”

每个部落都有关于起源的神话，都有关于宇宙、生命和人性的故事。从某种意义上讲，科学的确提供了某种相似的解释，至少是为现代社会中受过教育的人们提供了相似的解释。科学甚至有可能被描述为一种宗教信仰，而我也曾发表过一篇文章，半开玩笑地呼吁将科学列为宗教教育课程之中的一门正式课程（在英国，宗教教育是学校课程体系中的必修部分，和美国不同。美国因为担心会冒犯数不清的彼此无法兼容的信教者取缔了宗教教育。）科学与宗教相同的一点在于，两者都认为自己能够回答关于起源、生命本质和宇宙的深刻问题。但两者的相同点仅止于此，科学信仰有证据作为支持，并且能够产出结果；神话和宗教信仰没有证据，也没有结果。

在所有关于起源的神话中，犹太教的伊甸园传说在西方文化中广为流传，就连关于人类祖先的一个重要科学理论都以其命名——“非洲夏娃”。本章内容主要围绕非洲夏娃展开，一部分原因在于这可以助我引出DNA之河的类比，还有一部分原因在于我想以这一科学假设作为对比，来审视广为传颂的伊甸园夏娃。如果我能做到，那么读者将发现，真理比神话传说更加有趣，甚至更富有诗意。我们先来一段纯推理练习，其相关性随后便会明了。

你有两位家长，4位祖父母，8位曾祖父母……每前推一代人，人们的祖先的数量都会翻倍。往前追溯n代人，祖先数量就是2^n。只不过，不用多费脑子，我们很快就能想明白，实情不可能如此。为了证实这一点，我们只需沿着历史向前追溯一点点，比如回到2 000年前。保守来讲，假设一个世纪有4代人，也就是说，人们平均在25岁

时生儿育女，那么2 000年就是80代人。真实的数字可能比这个要多（以前许多女性都在很小的年龄开始生孩子），但我们做的就是个粗略估算，无须太过细致，也能得出结论。2^{80} 是个巨大的数字，1后面跟着24个零。也就是说，在那个时代的还有你的一亿亿亿位祖先，而且我也有这么多祖先！但当时的世界人口总数不过是我们刚才得出的数字的一个微不足道的零头。

很明显，哪里出了问题，但究竟是哪里呢？我们的计算没有错。唯一搞错的，就是我们关于每一代祖先的数量翻倍的假设。实际上，我们忘记了表亲也能结婚。每个人都有8位曾祖父母，而表亲婚姻家庭的子女只有6位曾祖父母。因为这对表亲夫妻共享两位祖父母，而这两位祖父母又同时是孩子的曾祖父母。说到这里，你可能会问："那又怎么样呢？"人们偶尔会和表亲结婚，达尔文与妻子艾玛·韦奇伍德（Emma Wedgwood）就是表亲关系，但这种事肯定不会频繁到产生什么影响力。事实上，的确会有影响，因为表亲可能意味着远房相隔两层的表亲、相隔五层的表亲、相隔六层的表亲等。

当你将这些远房表亲计算在内来看，每一桩婚事都是表亲联姻。你可能听说过某人吹嘘自己是英国女王的远亲，这样的说法着实有些卖弄，因为所有人都可以称自己是英国女王的远亲，也是其他每一个人的远亲。人们彼此之间的亲缘关系盘根错节，无从追溯。皇室和贵族唯一与众不同的地方，在于他们可以清清楚楚地追溯自己的祖先。正如第十四世霍姆伯爵在面对政治对手对其头衔的嘲讽时说过的那样："威尔逊先生，如果你细想一下，你自己也是第十四世威尔逊先生。"

由此可知，人们彼此之间都是比先前意识中关系更近的表亲，我们的祖先数量也比简单的计算结果要少许多。一次上课时，为了让学生沿着我这条思路进行思考，我提出让一位学生在现有知识的基础之上猜测一下，我与她的共同祖先生活在哪个历史时期。这位学生望着我，毫不犹豫地用缓慢而略带乡村味道的口音回答："猿猴时代。"这是个从直觉出发的思考结果，可以理解，但百分之一万是错误的。如果是这样，那我与她的分离就发生在数百万年之前。实情是，她与我的最近一位共同祖先，很可能就生活在几百年之前，可能在征服者威

廉一世之后。而且，我们之间肯定同时存在很多种不同的表亲关系。

导致我们给出错误祖先数量的计算模型，是一个不断开枝散叶的树形结构。若将这个结构倒置过来，变作后代树形模型，同样也是错误的。典型的情况下，一个人会有两个孩子、4个孙子、8个重孙，以此类推，直到几百年后产生一个万亿级别的庞大后代群。更贴近现实的祖先与后代模型，就是我们在上一章提出的不断流淌的基因之河。在河岸之内，基因沿时间线不断翻滚，向前流动。

基因顺着时间之河奔腾不息，水流分分合合。在这条河流的中途各点打一桶水上来，桶中的分子以前曾是伙伴，在河水中流淌的间歇点上是伙伴，以后也会再次成为伙伴。它们在过去曾相距遥远，未来也将遥遥相望。我们很难追踪到这些伙伴相遇的时间点，但从数学上能证实，相遇的确发生过。通过数学，我们了解到，如果两个基因在某个特定点没有相遇，无须沿河流的两个方向追溯多久，就能发现它们相遇的迹象。

你可能不知道自己和丈夫是远亲，但从统计学角度讲，你不用向上追溯多久，就能发现自己与他的血统有所重叠。展望未来，你与丈夫或妻子共同养育后代的可能性也是很大的。但这里有个更加有趣的想法。下一次当你身处人群之中时，比如在音乐厅或足球比赛现场，请看看周围，然后想一想：如果你在遥远的未来拥有后代，那么与你身处同一间音乐厅的这群人里，很可能某位就是未来与你拥有共同后代的人。

同一群孩子的共同祖父母通常知道他们是共同祖先，这样的事实无疑会让他们有一种亲密感，不管双方是否会为此采取行动。他们在想到对方时可能会说：“我不怎么看得上这个人，但他的DNA和我的DNA在我们的孙子身上混为一体，很可能在我们都驾鹤西去之后很久还有共同的后代。这样的事实的确会让我们产生联结感。”但我想说的是，如果你在遥远的未来还有后代，那么与你共处一间音乐厅的陌生听众之中，很有可能有人与你是共同祖先的关系。你可以对这群人展开调查，琢磨一下哪个人（无论男女）会命中注定与你共享后代。你与我，无论你是谁，无论你的肤色与性别，都有可能是共享后代的共同祖先。你的DNA可能命中注定会与我的DNA融为一体。

现在，假设我们可以乘坐时光机回到过去，回到罗马圆形大剧场的人群之中，或是更加久远的乌尔国的集市，或是再往前追溯。我们对那里的人群展开调查，把这群早已不在人世的个体分为两类：你的祖先，非你的祖先。这一点简单明了，但现在，我们能揭开一个令人震惊的真相。如果时光机带你回到了足够遥远的过去，那么你就能将自己见到的人分为两类，一类是生活在1995年的每一个人类的祖先，另一类则是没有后代活到1995年的人类祖先，没有中间情况。当你踏出时光机，眼睛看见的每一个人要么是全体人类的共同祖先，要么谁的祖先也不是。

这是一个值得思考的问题，也非常容易得到证明。你需要做的，就是驾驶想象中的时光机飞到足够遥远的过去，比如3.5亿年之前。那时，我们的祖先还是长着肺的肉鳍鱼，刚从水里出来，正要变成两栖动物。如果某条鱼是我的祖先，很难想象它不是你的祖先。如果它不是，那么就意味着继承到你的血统和继承到我的血统是彼此独立的，没有交叉，一路从鱼类到两栖动物、爬行动物、哺乳动物、灵长类动物、猿猴和类人动物，最后你我还生得如此相似，可以彼此对谈，而且如果我们是不同的性别，还能交配生子。你我之间的道理，对任何一对人类来说都适用。

我们已经证明，如果回到足够久远的过去，那么我们遇见的每一个人，要么一定是所有人的祖先，要么谁的祖先也不是。但多远才算足够久远？很明显，利用归谬法可以证明，我们无须回到肉鳍鱼时代，但是究竟要追溯到何时，才能找到所有生活在1995年的每一位人类的共同祖先呢？这是个难度更大的问题，也是我接下来想要讨论的。这个问题不是我们简单讨论便能得出结论的，我们需要真实的信息，需要对现实世界的特定事实进行考察。

著名英国遗传学家兼数学家罗纳德·费希尔爵士（Sir Ronald Fisher），完全有资格被誉为20世纪杰出的达尔文继承者，以及现代统计学之父。他曾在1930年说过这样一段话：“不同人种之间的性交，只存在地理等其他障碍。除了最近1 000年以外，这些障碍阻止了整个人类拥有同样的祖先。往前追溯500年以上，同一个国家国民的祖先可能就是同一个人。前往追溯2 000年，唯一可能存在的就是

人种学种族之间的差异。这些差异可能的确是非常古老的，但只有在数千年间彼此隔离的两个族群之间几乎不存在混血的情况下，才有可能存在。”

关于河流这个比喻，费希尔是基于以下事实，即一个在地理上统一的种族之中所有成员的基因，都沿同一条河流潺潺流淌。但他提到的实际数字——500年、2 000年，费希尔肯定是在现有知识的基础上做出的猜测。他那个时代的人们尚没有能力收集相关证据。而分子生物学革命发生之后，我们甚至会因为信息太多而无从下手。正是分子生物学赐予了我们魅力四射的非洲夏娃。

数字之河并不是我们用过的唯一一个比喻。我们可以将自己体内的DNA看作一部家族族谱，DNA是一条很长的文本，是以一种由4个字母组成的文字写成的。这些字母被一丝不苟地从我们的祖先那里拷贝过来，就算相隔许多世代，也可以高保真度。通过对不同个体所保留的文本进行对比，我们就有可能重建他们之间的亲缘关系，并追溯到同一位共同祖先。远亲的DNA有更多的时间去彼此分离，比如挪威人和澳大利亚土著的DNA中就有大量不同的文字。研究人员可以针对文献的不同版本进行比对。除此之外，在DNA档案的问题上，还存在一个小困难——性。

性是DNA档案研究人员的噩梦。性的存在令祖先文本无法保持原封不动，造成了不可避免的问题。性中精力充沛、毫无节制的插手干预会对证据造成严重破坏。性对DNA档案的破坏，远远超过公牛对瓷器店的损毁。而在《圣经》研究学者的工作中，根本不存在这样的问题。诚然，对《雅歌》的起源进行追溯的学者，肯定知道原版不可能如此。

《雅歌》的段落前后不搭，说明这就是几个不同的诗歌段落的拼凑。其内容存在错误、突变，特别是在翻译过程中更容易出问题。“那些小狐狸，把那些破坏葡萄藤的小狐狸给我们抓来”是个错译，虽然许多人一生中都在不断重复这句话，令其拥有了某种挥之不去的吸引力，但也无法与正确翻译的语句相提并论：“把狐蝠给我们抓来，那些小狐蝠……看呀，冬天逝去，雨过天晴。大地绽放着鲜花，鸟儿歌唱的时候到了，乌龟也开始鸣叫。”

这段诗歌如此美好，我真不想咬文嚼字、破坏其中的美感，但这里无疑也存在一处“突变”。现代版的翻译用“鸽子”替换掉了“乌龟”，准确倒是做到了，却凭空添了沉闷，整首诗的韵味也破坏殆尽。但这些都是微不足道的错误，是无法避免的小差错，完全可以理解。因为这些文件并不是批量印刷出来的，也不是存在高保真的计算机磁盘上的，而是人们亲手在稀有而脆弱的蒲草纸上一遍又一遍抄录下来的。

现在，我们将引入性这个话题。在此，我不是指《雅歌》中的性描述，而是指以随机选择碎片的形式生生夺走一半的文件，将其与另一半横刀夺来，同样被撕扯得乱七八糟的文件相混合。这种不可思议的破坏性就是性细胞生成时会发生的情况。举例来说，当一位男性产生一枚精子细胞时，他从父亲身上遗传得到的染色体，与他从母亲身上遗传得到的染色体相互配对，其中很大一部分都变换了位置。

一个孩子的染色体是其祖父母染色体混乱纷杂、无可挽回、完全对不上号的大杂烩。再往更久远的祖先追溯，其情况可想而知。利用古代文献的比喻，其中的字母，甚至词汇，都有可能在世代继承的过程中被完整保留下来，但章节、页面，甚至段落，都已被残酷无情地扭曲、合并，若想沿这些线索去追溯历史根本无从下手。当我们谈到历史遗传时，性无疑是个巨大的障眼法。

只要不存在性的问题，我们就能利用DNA档案重建历史。我能想到两个重要案例，其一就是非洲夏娃，其二是对更加久远的世系进行重建——寻找物种之间的关系，而非物种之内的关系。正如我们在前一章了解到的，性混合只会发生在物种之内。当亲本物种生成子代物种时，基因之河就形成了两个支流。在支流各自流淌一段时间之后，每条河流之中的性混合就能实实在在地帮助到物种之间世系和亲缘关系的重建工作，而非遗传档案学家的绊脚石。只有在物种内部的亲缘关系问题上，性才会毁灭证据。而当我们讨论物种间亲缘关系的问题时，性能发挥助力作用，因为性可以自动确保每一个个体都是整个物种的优秀遗传样本。无论你从这条经过充分混合的河水中打出哪一桶水，这桶水都可以作为整条河的代表。

研究人员从不同物种代表身上获取了DNA文本，对其进行逐个字母的比对，并成功地构建了物种谱系。一个颇具影响力的研究学派认

为，我们甚至有可能对物种谱系这棵大树的枝叶进行年代鉴定。这个想法源于颇具争议的“分子钟”理论。分子钟理论假设，遗传文本任意给定位置每百万年发生突变的速率是恒定的。

基因之中描述蛋白质的“段落”是细胞色素c，共有339个字母。人与马是远亲，人类细胞色素c和马细胞色素c之间有12个字母是不同的。而人与猴（相对较近的近亲）之间只有一个细胞色素c的字母是不同的。马和驴有一个字母不同，马和猪有3个字母不同。人类与酵母菌有45个字母不同，猪和酵母菌也有45个字母不同。数字相同并不足为奇，因为当我们沿着河流向上追溯找到人类的起源时，这条支流与猪的支流汇聚的时间，比它们一起与酵母菌支流汇聚的时间要近得多。

但是，这些数字里面存在一点小干扰。将马与酵母菌区别开来的细胞色素c的不同字母数不是45个，而是46个。这并不是说猪与酵母菌的亲缘关系，比马与酵母菌的亲缘关系更近。马和猪与所有脊椎动物一样，和酵母菌的亲疏远近是相同的。也许，在马和猪共享祖先的时代，有一个额外的变化悄悄潜入了发展成为马的世系之中，个中原因究竟为何并不重要。总体来看，将生物彼此隔离的细胞色素c字母数量，和我们之前讨论的进化之树开枝散叶的模式如出一辙。

之前提到过的分子钟理论认为，某个给定DNA片段的变化速率在每百万年间是基本恒定不变的。在这一假设的基础上，将马与酵母菌区分开来的46个细胞色素c字母的改变，其中约有一半发生在从共同祖先到现代马的进化过程中，另一半发生在从共同祖先到现代酵母菌的进化过程中（显而易见，这两条进化道路需要同样的时间才能完成）。乍看起来，这是个令人颇感吃惊的假设。毕竟，共同祖先和酵母菌的相似程度，很可能比其与马的相似程度更高。而令人接纳这一说法的关键，就在于由著名日本遗传学家木村资生（Motoo Kimura）提出的一个日益为人们所接纳的假设。该假设认为，很大一部分遗传文本都能在不影响意义的情况下自由变化。

一个很贴切的类比，就是对打印句子中的字体设计进行改变。

马是哺乳动物。

酵母菌是真菌。

就算每个词都用上了不同的字体，上面两句话的意思也能清晰表达。随着百万年的流逝，分子钟滴滴答答，坐看毫无意义的字体变化。受制于自然选择的变化，描述出马与酵母菌的不同之处的变化，也就是句子意义的变化，不过是冰山一角。

一些分子比另一些有着更快的时钟速率。细胞色素c的进化速度相对缓慢，约每2　500万年发生一次字母变化。这可能是因为，细胞色素c对于有机体生存的重要性严格取决于其具体形状。这类形状十分重要的分子发生的变化，绝大多数不为自然选择所容纳。其他一些蛋白质，诸如血纤维蛋白肽等，虽然也很重要，但在各种形状之下都可以正常工作。

血纤维蛋白肽与凝血作用有关，我们可以对其具体形状进行改变而不会影响到其凝血能力。这些蛋白质的突变速率是每60万年发生一次，比细胞色素c快40多倍。由此可见，血纤维蛋白肽不适用于重建远古世系，只适用于更近期的世系重建，比如哺乳动物之间的世系关系。科学家目前发现了数百种不同的蛋白质，每一种都有自身独特的每百万年变化速率，而每一种都能被单独用来进行谱系重建。这些蛋白质都能得出基本相同的谱系，而这也是非常好的证据，可以用来证明进化论是正确的。

我们先前讲到性混合搞乱了历史记录，并由此展开了上述讨论，提到了两种不受性影响的情况。上述讨论承袭了性不会将不同物种的基因进行混合的事实，而对其中一种情况进行了分析。这就开启了一种可能性，即利用DNA序列来重建我们的祖先尚未成为人类时的远古谱系。如果追溯到如此久远的过去，人类的祖先无疑是同一位单一个体。我们想要知道的是，究竟是在距离现今多近的时代，我们是与所有其他人类共享同一位共同祖先的。为了找到问题的答案，我们需要去寻找另一种不同的DNA证据。而说到这里，非洲夏娃便盈盈走入我们的视线。

非洲夏娃有时也被称为线粒体夏娃。线粒体个头很小，呈菱形。人类身体的每个细胞内部都充斥着数以千计的线粒体。线粒体基本呈

中空，但有着由膜状挡板构成的复杂内部结构。这些膜状结构的表面积比线粒体的外表看起来要大出许多，而且能发挥作用。这些膜状结构是一座化学工厂的生产线。更准确地说不应叫化学工厂，而是一座发电站。

沿薄膜存在一条经精细控制的化学反应链，这条链上的反应步骤比任何人类化工厂之中的反应步骤都要多。结果就是，源自食物分子的能量通过被控制的步骤得到释放，并以可重复利用的形式储存起来，以备后用。无论何时需要，无论身体的哪个部位需要，都可以调用。若没有线粒体的存在，人类会一秒毙命。

我们现在更关注的是线粒体从何而来，在远古进化史中，线粒体曾是细菌。这一优秀理论得到了业界牛人，马萨诸塞大学安姆斯特分校（University of Massachusetts Amherst）的林恩·马古利斯（Lynn Margulis）的坚定拥护。从最初的异端邪说，到勉为其难的一点点兴趣，再到如今全体一致接纳的大胜利。20亿年前，线粒体的远古祖先还是自由存在的细菌，和其他类型的细菌一起，在更大的细胞内安营扎寨。由此产生的细菌群落（“原核”）成为人类自身拥有的大细胞（“真核”）。我们每一个人都是由数以万亿计的相互依存的真核细胞构成的群落，其中的每一个细胞都是数以千计的各有特色的细胞组成的群落，而这些细菌都完全封存于细胞之内，像正常细菌一样增殖。

有人曾做过计算，如果将人体内所有线粒体一个个排好队，其长度能围着地球绕2 000圈。某只动物或某棵植物，是由彼此互动的层叠群落积聚而成的巨大群落，就像雨林一样。热带雨林是活跃着数千万个物种的群落，而每个物种的每一个个体本身也是由被驯化的细菌构成的一个群落。马古利斯博士提出的起源理论，即细胞是封闭细菌花园，远比伊甸园的故事更能给人以启迪，也更加令人激动和振奋。而且，这一理论还有个额外的优势，那就是我们几乎可以肯定其正确性。

我和绝大多数生物学家一样，都坚信马古利斯理论的真实性，在本章提到这一理论，是为了引出这样一个特定话题：线粒体拥有自身的DNA。线粒体的DNA和其他细菌一样，限定于单一的环状染色体。线粒体DNA不参与任何性混合，无论是与体内的主“核”DNA，还是与

其他线粒体的DNA。线粒体和许多细菌一样，只通过分裂的形式实现繁殖。一个线粒体无论何时分裂成为两个子线粒体，每个子线粒体都能获得与初始线粒体完全一致的拷贝，只会偶尔出现突变。现在我们就能从长距离谱系学者的角度看到其中的美妙之处了。我们发现，当考虑到人类的普通DNA文本时，在每一世代，性都会将证据打乱，将父系和母系的贡献通通混淆，而线粒体DNA则如受到庇佑般岿然不动。

人类的线粒体都来源于母亲，因为精子个头太小，容不下几个线粒体，其内部的线粒体只能为其提供足够的能量，让精子甩动尾巴，游向卵子。当卵子受精时，精子的头部被卵子吸收，而其内部的线粒体也随尾巴一同脱落。相比之下，卵子硕大无比，其巨大的、充满液体的内部空间蕴藏着丰富的线粒体种质，这些种质便是胎儿身体的种子。因此，无论你是女性还是男性，你的线粒体全部继承自你母亲线粒体的最初接种。无论你是女性还是男性，你的线粒体全部承袭于你外祖母的线粒体，没有一个来自祖母。线粒体包含了一个关于过往的独立记录，没有受到主核DNA的污染。而主核DNA来自你4位祖父母中的每一位、8位曾祖父母之中的每一位的可能性是相同的。

线粒体DNA没有受到污染，但并不能免于突变，即拷贝过程中发生的随机错误。事实上，其突变的速度比人类“自身”DNA的突变速度更快，正如所有细菌的情况一样，线粒体缺乏细胞从古至今进化而来的复杂的校读机制。你的线粒体DNA和我的线粒体DNA之间会存在一些不同之处，而这些不同的数量就是我们的祖先在多久之前分离开来的测量方法。并非任意一位祖先，而是母亲、外祖母这条女性专属线索。

如果你的母亲是血统纯正的澳大利亚原住民，或是血统纯正的中国人，抑或是血统纯正的卡拉哈里沙漠桑人，那么你的线粒体DNA和我的线粒体DNA之间就会存在许多不同。你父亲是谁并不重要，无论他是英国侯爵还是印第安酋长，都不会对你的线粒体产生丝毫影响，同样的道理，对你所有的男性祖先都适用。

因此，你的体内存在一本和主要的家庭族谱一同继承下来的独立的线粒体次谱，而这本次谱很大的好处就在于只沿母系继承。这并不

是性别歧视：如果能做到只沿父系继承，也能带来同样的好处。线粒体DNA的好处就在于其不受干扰的完整性，在于其不会在每一代都被剪碎再融合。DNA遗传学家需要寻找的恰恰就是通过任一性别，而非两种性别的持续继承。Y染色体就像姓氏一样，只沿男性继承，从理论上讲应该也同样适用，但其中包含的信息量太少，不够用。线粒体DNA是寻找同一物种的共同祖先生存年代的理想工具。

有一个与加州大学伯克利分校已故科学家艾伦·威尔逊（Allan Wilson）共事的研究团队曾对线粒体DNA展开研究。在20世纪80年代，威尔逊和同事们对来自世界各地的135位女性进行了线粒体DNA序列取样。这些女性包括澳大利亚原住民、新几内亚高地人、美国土著、欧洲人和来自非洲的各类人种代表。研究团队针对每位女性与其他每一位女性之间的字母差异数量进行了统计，并将数字输入计算机，建立了一个最“节俭”的谱系。之所以在这里用“节俭”这个词，是因为研究人员在建模时尽可能地避免了对巧合的假设。

请回忆一下我们之前讨论过的马、猪和酵母菌，以及对细胞色素c字母序列的分析：马和猪只有3个字母之差，猪和酵母菌有45个字母之差，马和酵母菌有46个字母之差。从理论上来讲，我们认为由于马和猪拥有相对近期的共同祖先，所以二者与酵母菌之间的亲疏远近应该是完全相同的。45和46是个异常现象，在理想的世界本不应存在。这样的差异可能是因为在发展到马的道路上出现了一个额外的突变，或在发展到猪的道路上出现了一个重复突变。

从理论上来讲，猪和酵母菌之间的关系的确有可能比马与酵母菌更近，而猪和马是因为一场巨大的巧合才进化出高度相似性的（它们的细胞色素c只有3个字母之差，它们的身体也都具备几乎一致的哺乳动物模式）。我们之所以不相信会有这样的情况发生，是因为猪和马的相似程度远远超过猪和酵母菌的相似程度。

诚然，猪和酵母菌的关系，比马和酵母菌的关系，少了一个DNA字母之差，但这在马与猪的其他无法计数的相似性面前完全不值一提。这段论证便是“节俭”的案例之一。假设猪与马的关系很近，那么我们只需考虑一种巧合的相似之处。假设猪与酵母菌的关系很近，那么我们就要去构想一种极度超现实的情况，即它们彼此独立地获得了

完全出于巧合的相似性。

在马、猪和酵母菌的问题上，节俭论证十分强大，无人质疑。但若在不同人种的线粒体DNA中寻找相似性，就不会出现上述论证之中的天差地别。节俭论证依然适用，却是细微的量化论证，而非能将问题一举击溃的强大论证。从理论上讲，计算机需要列出这135名女性所有可能存在的谱系，之后对这些可能存在的谱系进行核查，找出最节俭的一个，也就是将巧合相似性数量降到最低的一个。

我们必须接受，就算是最优秀的谱系，也有可能会强迫我们接纳几个小巧合，就像我们需要被迫接受因一个DNA字母之差而引出的酵母菌与猪的关系比酵母菌与马的关系更近一样。但是至少从理论上讲，计算机应该有能力处理这样的问题并表明，在这许许多多可能存在的谱系之中，哪一个是最节俭的，也就是将尽可能多的巧合排除在外的谱系。

上述都是理论，在实际情况中我们面临着一个障碍：可能存在的谱系数量比你、我以及任何一位数学家所能想象到的都要多。对于马、猪和酵母菌来说，只有3个可能存在的谱系。显而易见，正确的谱系是［（猪　马）酵母菌］，猪和马被框在了最里面的括号里，酵母菌则是无关的“外组”。另外两个理论上存在的谱系是［（猪　酵母菌）马］和［（马　酵母菌）猪］。如果我们增加第4种生物，比如鱿鱼，那么可能存在的谱系数量就增长到了15种。我就不在此将所有15个谱系都列举出来了，但最节俭的是{［（猪　马）鱿鱼］酵母菌}。猪和马作为近亲，再一次紧密地团结在最内层的括号里。

下一个加入其中的是鱿鱼，与酵母相比，其与猪/马世系拥有更近期的共同祖先。其余14个谱系中的任何一个都没有最优谱系那么节俭。如果说猪与鱿鱼之间真的是更近的近亲，马与酵母菌之间是更近的近亲，然后猪和马彼此独立进化出了数量繁多的相似性，这种可能性简直微乎其微。

如果针对3种生物能画出3个可能存在的谱系，针对4种生物能画出15个可能存在的谱系，那么针对135位女性能建起多少个可能存在的谱系呢？答案是一个巨大无比的数字，根本没有写出来的必要。如

果我们用现今世界上最大最快的计算机来列举所有可能存在的谱系，那么在计算机完成这项任务之前，世界末日早已降临人间。

尽管如此，这个问题也不是完全无望得以解决。我们可以利用审慎的取样方法，来驯服巨大到无法估量的数字。我们无法逐一算清亚马孙盆地中的昆虫数量，但可以通过对雨林各处的小地块进行随机取样，并假设这些小地块具有代表性，进而估算出总数。我们的计算机无法对135名女性的所有可能存在的谱系进行检索，但可以对所有可能存在的谱系进行随机取样。如果在浩如烟海的可能存在的谱系中进行取样，并留意到样本中最节俭的几个谱系都具备某些共同特征，你就能认定，也许所有谱系中最吝啬的一个具有同样的特征。

这就是研究人员实际完成的工作。但完成这一工作的最佳方法并非一眼就能识破的。正如昆虫学家可能就如何在巴西雨林中取样才最具代表性的问题争论不休一样，DNA谱系学家也运用过不同的取样方法。不幸的是，结果并不完全一致。尽管如此，伯克利团队对人类线粒体DNA分析的最初研究成果还是具备一定的参考价值的。他们的结论非常有趣，研究结果显示，最节俭的谱系原来牢牢扎根于非洲。这就意味着，一些非洲人与另一些非洲人之间的亲缘关系，比某些非洲人与全世界其他任何地方的某个人之间的亲缘关系更为疏远。

其他地方的人，包括欧洲人、美国土著、澳大利亚原住民、新几内亚人、因纽特人，形成了一个关系相对紧密的亲缘群体。一些非洲人属于这个紧密的团体，而另一些非洲人则不在此列。根据这一分析，最节俭的谱系是这样的：{一些非洲人[另一些非洲人（还有一些非洲人）还有一些非洲人和其余每一个人]}。由此，研究人员总结认为，所有人的母系祖先生活在非洲，而这位母系祖先就是“非洲夏娃”。我之前提到过，这一结论颇具争议。还有一些研究人员认为，在非洲以外的最外端的分支上也能找到同样节俭的谱系。他们还认为，伯克利的研究团队之所以得到这份结果，是因为计算机寻找可能存在的谱系时所采用的顺序。很明显，寻找的顺序不应该是个问题。大部分专家可能还是会更加相信线粒体夏娃来自非洲，但他们也并非信心满满。

伯克利的研究团队给出的另一个结论就没有那么大的争议了。无

论线粒体夏娃生活在哪里，研究团队都能够估测其生存年代。我们已知线粒体夏娃的进化速度，因此可以在线粒体DNA谱系的每个分岔节点都标注上大致时间。而让所有女性联合起来的分岔节点即线粒体夏娃的出生日期，预估是在距今25万~15万年之间。

无论线粒体夏娃是否来自非洲，我们都要避免一种可能存在的理解混淆，那就是人类的祖先来自非洲，这一点毋庸置疑。线粒体夏娃是所有现代人类的近期祖先，她是“智人”物种的一员。研究人员在非洲以及非洲以外的地方，都发现过更早期的原始“直立人”化石。诸如能人和各种南方古猿（包括新近发现的拥有400多万年历史的新物种南方古猿）等比直立人更为久远的祖先化石，只在非洲发现过。因此，如果我们是过去25万年间从非洲迁徙到世界各地的人类的后裔，这次迁徙也是第二次非洲迁徙。

还有一次更早的非洲大迁徙，很可能发生在150万年前。当时，直立人慢慢游荡到非洲以外，在中东和亚洲各处安营扎寨。非洲夏娃理论并不是否认这些更早期的亚洲移民的存在，而是认为这些移民没有留下幸存的后代。无论你怎么看待这个问题，追溯到200万年之前，所有人类都是非洲人。除此之外，非洲夏娃理论还认为，如果仅仅追溯到几十万年前，当时幸存下来的人类也都是非洲人。如果能找到新的证据支持，那么就有可能沿所有现代线粒体DNA追溯到一位非洲以外的母系祖先（比如“亚洲夏娃”），并认为人类更为久远的祖先只能在非洲找到。

现在，让我们假设伯克利的研究团队得出的结论是正确的，并对其结论的意义进行检验。“夏娃”这个雅号带来了不幸的后果。一些激情满怀的人竟然凭空认为此夏娃是位孤独的女性，是地球上唯一的女性，是终极的遗传瓶颈，甚至将其作为为《创世记》辩护论证的依据。这种理解大错特错，正确的说法是，她并非当时地球上的唯一女性，甚至当时的人口规模也并不算小。她身边有着众多的伙伴，而且很能生养。

直至今日，他们可能还有为数众多的后代。但这些祖先的线粒体在所有后代身上都不复存在了，因为祖先与我们之间的联结，在某个节点上是通过男性建立起来的。同样，一个高贵的姓氏（姓氏与Y染

色体一样，只沿男性向下继承，恰好与线粒体呈镜像关系）也会消失，但这并不意味着该姓氏的拥有者没有后代。他们可能通过各种路径拥有了数量众多的后代，只不过没有走通“只有男性”的这条路。正确的说法应该是，线粒体夏娃是距离现今最近的一位女性，在女性专属继承路径上，所有现代人类都是她的后代。一定存在这样一位女性可以让我们得出这样的结论，唯一需要争论的是她曾经生活在这里还是那里，是这个年代还是那个年代。她的确曾在某个地方、某个时代存在过，这一点毋庸置疑。

现在人们中间还存在一个更为常见的误解。就连在线粒体DNA领域工作的顶尖科学家也会犯同样的错误——线粒体夏娃是距今最近的人类共同祖先。这是把“距今最近的共同祖先”和“沿女性专属继承路径向上追溯的距今最近的共同祖先”搞混了。线粒体夏娃是女性专属继承路径上距今最近的人类共同祖先，而还有许多其他方式可以成为祖先的后代，而无须沿袭女性专属路径，可以说人们还有成百上千万条其他的路可以走。让我们回到祖先数量的计算题上（暂且忘记之前讨论过的表亲联姻的话题），你有8位曾祖父母，但其中只有一位属于这条女性专属继承路径；你拥有16位曾曾祖父母，但其中只有一位属于这条女性专属继承路径。就算表亲联姻在某个给定世代使得祖先数量降了下来，也仍然存在比女性专属继承路径多得多的成为祖先的方式。

当我们沿着人类基因之河向上追溯到久远的古代，可能会找到许多位夏娃和亚当。我们可以说，1995年生活在地球上的所有人类都是这些焦点人物的后代，线粒体夏娃只不过是其中一位。我们没有理由认为在所有这些亚当和夏娃之中，线粒体夏娃是距今最近的一位。恰恰相反。她有着一个特别的定义：我们是沿着后代之河，通过一条特定的路径成为她的后代的。与这条女性专属路径并行不悖的还有无数条可能存在的路径，这些路径的总数是如此巨大，使得线粒体夏娃在这许多亚当和夏娃之中，很难成为距今最近的一位。以女性专属路径继承下来，是非常有特色的一点，而如果这条特别的路径又碰巧距今最近，那就是个令人不敢相信的巧合了。

还有一件挺有意思的事，那就是人类距今最近的共同祖先更有可

能是一位亚当，而不是一位夏娃。妻妾成群的现象比一妻多夫的可能性更大。从生理上讲，男性更有可能拥有成百甚至上千个孩子。《吉尼斯世界纪录》记载的拥有孩子数量最多的人有1 000多个孩子。这位父亲名叫穆莱·伊什梅尔（Moulay Ishmael），人送绰号“嗜血者”。（穆莱·伊什梅尔完全可以被女性主义者用来作为令人不爽的男性形象代表。据说，他可以在拔出宝剑的同时借势跃上马鞍，顺手砍下牵着缰绳的奴隶的脑袋，脱缰驰骋。虽然这幅画面血腥得让人不敢想象，但这段传说再加上他手刃万人的名声，也许能让我们大致了解这种类型的男性身上“受人尊崇”的特质。）

而在理想情况下，一位女性最多只能生育几十个孩子。平均而言，女性拥有孩子数量比男性多。可能有些男性的孩子数量多得不可思议，而这也意味着另一些男性一个孩子都没有。如果说有一个人没能成功繁育后代，那么此人更有可能是一位男性，而非女性。如果一个人拥有比例不均的子孙后代，那么此人也更有可能是一位男性。同样的道理适用于所有人类距今最近的共同祖先。由此来看，他更有可能是一位亚当，而非夏娃。举个极端的例子，你认为谁更有可能是现如今所有摩洛哥人的祖先，嗜血者穆莱·伊什梅尔，还是他庞大后宫之中的任意一位女子？

我们可以得出如下结论：第一，一定存在一位我们可以称其为线粒体夏娃的女性。她是沿女性专属继承路线向上追溯的距今最近的所有现代人类的共同祖先。第二，一定存在一个不知性别的人，我们可以将其称为焦点祖先。她或他是沿任意路径向上追溯的所有现代人类的共同祖先。第三，虽然线粒体夏娃和焦点祖先有可能是同一个人，但这种可能性小到微乎其微。第四，焦点祖先更有可能是一位男性而非女性。第五，线粒体夏娃很可能生活在距今25万年。第六，关于线粒体夏娃生活在哪里，学界尚存在争议，但在对以事实为依据提出的各种意见进行权衡之后，我们还是偏向于非洲。第五条和第六条结论取决于对科学证据的检验。前4条完全是利用一般的知识体系推理得出的结论。

但我说过，祖先掌握着理解生命本质的钥匙，非洲夏娃的故事只不过是更为久远的宏伟生命画卷上的一个狭小的人类缩影。在此，我

们重回基因之河的比喻，回到那条流出伊甸园的河流之上。这一次，我们要逆流而上，追溯比传说中的夏娃生活的历史和非洲夏娃那数十万年的历史都要久远得多的时间点上。DNA之河从未间断，一路随着我们的祖先流传至今，而其时间跨度也不止30亿年。



RIVER OUT OF EDEN

A Darwinian View of Life



03
循序渐进



神创论有着经久不息的吸引力，个中原因不难理解。至少对于我认识的大部分人来说，并不是因为他们笃信《创世记》或其他民族起源的神话故事，才有了宗教信仰。而是因为人们自己发现了生命世界的美好和复杂，并得出结论认为，“很明显”这一切都是经设计得来的。这些神创论的信仰一旦认识到达尔文进化论给出了某种替代解释，便往往会诉诸一种稍微有些复杂的反驳思路，对进化中间阶段的存在可能性予以否定。“X一定是创世之神设计出来的，”人们会说，“因为半个X根本不可能存在。X的所有部件肯定是同时被装配为一体的，不可能是逐渐进化出来的。”举例来说，我开始撰写本章内容的那一天，碰巧收到一封信。这封信来自一位美国牧师。此人原本是一位无神论者，后来读了一篇《国家地理》杂志的文章之后就信了教，以下摘录一段信中的内容：

> 这篇文章，是关于兰花为成功繁殖后代，而对周边环境形成的惊人的适应性的内容。我在阅读过程中深深地被物种的繁殖策略所吸引——这一策略还要有雄性黄蜂参与进来共同合作。从外观看来，兰花与同种黄蜂的雌性非常相似，在适当的位置还有开口，便于雄性黄蜂在与花朵“交配”时触及花朵产出的花粉。等黄蜂飞向下一朵花时，这一过程还会重复一遍，于是便发生了异花授粉。而最初令花朵对黄蜂产生吸引力的，是花朵释放的信息素（昆虫常用的一种特定化学物质，专用于将雌雄个体吸引到一起），这种信息素与同种黄蜂的雌性释放的信息素完全一致。
>
> 我饶有兴致地仔细看了看文字旁边的配图，随后我猛然意识到，这一繁殖策略若想起效，必须在第一次执行时就无懈可击。在这一问题上，没有循序渐进的步骤可以发挥替代作用。因为如果兰花看起来不像雌性黄蜂，闻起来不像雌性黄蜂，没有一个适宜雄蜂与之交配的开口，花粉的位置也不在雄蜂生殖器正好能接触到的地方，那么这一策略就注定会失败。

我永远忘不掉当时那种令我无法招架的失落感。因为就在那一刻，我清醒地意识到，一定有某种类型的神以某种方式存在着，并始

终与万事万物的生息繁衍保持着不间断的关系。简而言之，创世之神并非老朽的神话，而是真实存在的。与此同时，我也马上意识到，无论这条路多么艰难，我一定要踏上这趟探寻之旅，去寻找关于神的更多真相。

人们信仰宗教的心路历程千千万万，但肯定有许多人都有着和这位牧师相似的经历。这些人看到或读到一些大自然的奇闻逸事，满心惊叹，敬畏之情无以宣泄。更具体地说，正如上文信中所言，他们笃信某种特定的自然现象，无论是蜘蛛网、鹰眼，还是鸟翼或是其他任何自然产物，都不可能通过循序渐进的方式，阶段性地进化而来，因为中间状态是完全发挥不了任何作用的。本章的目的就是摧毁这样的错误认识。

持这种错误理念的人认为，如果大自然中的复杂发明创造想要发挥作用，就必须是完美无瑕的。碰巧的是，达尔文最喜欢引用的案例之一就是兰花。他专门写了一本书来解释自然选择的逐渐进化原则，完全可以用来解释“兰花借助昆虫进行繁殖的各种天才手段”。

牧师提出的关键内容，就在于他断言“这一繁殖策略若想起效，必须在第一次执行时就无懈可击，没有循序渐进的步骤可以发挥替代作用”。同样的评论意见也经常被人用来说明眼睛的进化，我会在本章随后的内容中回到眼睛进化的讨论上。

每当我听到这样的说法，都会因发言者笃定的态度和自信而感触颇深。我真想问问这位牧师，他怎么就能这么肯定，模拟黄蜂的兰花（或眼睛，或任何其他自然产物）除非其每一个部件都完美无缺、准备就绪，否则就不可能发挥效用？他有没有真正在这个问题上花一秒钟动动脑子？他真的对兰花、黄蜂，或黄蜂看到雌性和兰花的眼睛样花纹有一点点了解吗？是什么给了他如此巨大的勇气断言，除非兰花能完美到在所有维度上呈现出雌蜂的样子，否则就不可能愚弄黄蜂？

请回想一下，上次你被某些一眼望去非常相近的相似点所蒙蔽的情况。可能你会对街上的陌生人打招呼，以为她是你的旧相识。电影明星拍摄从马背上摔下或纵身跳下悬崖的镜头都会用特技替身演员。替身演员与电影明星之间的相似之处通常都是极为表面的，但在转瞬

即逝的动作镜头之中，这一点点相似之处足以骗过观众。有些人类男性看到杂志中的插图，便会产生性欲。插图不过是印刷在纸张上的墨水而已，而且还是平面的，不是立体的。图片最多也不过几厘米大小，这张图甚至可能是简单几笔勾勒出的漫画作品，与真人相距甚远。但尽管如此，一些看到图片的男性还是会兴致勃发。对于一只快速飞舞的黄蜂来说，可能只消瞥见一眼雌蜂那转瞬即逝的身影，便足以令其产生交配的想法。也许雄蜂也只是留意到了几个关键的刺激因素而已。

我们有充分的理由认为，黄蜂比人类更容易受到蒙蔽。刺鱼就非常容易被蒙蔽，而与黄蜂相比，鱼类还拥有体积更大的大脑和视力更好的眼睛。雄性刺鱼长有红色的腹部，它们不仅会对其他雄性展开威吓，还会对看起来和红色“腹部”略为相似的假鱼进行攻击。我的老恩师——诺贝尔奖获得者、行为生物学家尼科·廷伯根（Niko Tinbergen）特别喜欢讲一个故事。一天，有一辆红色的邮政车从他实验室的窗外驶过，所有雄性刺鱼一下子全冲到了鱼缸朝向窗子的一面，对着那个方向展开凶猛攻势。

雌性刺鱼腹中的卵子一旦成熟，便会挺出巨大且肿胀的腹部。廷伯根发现，一个非常粗糙的、大致呈长条状的物品，在人类看来与刺鱼没有一点相似之处，只要有个圆滚滚的腹部的假鱼就能激发雄鱼的全套交配行为。廷伯根创建的研究学派就曾在实验中制作了一颗所谓的性炸弹。这是一个梨形物体，浑圆饱满，但不是长条形，就算穷尽（人类）想象力，也看不出哪里像鱼。而就是这样一个物体，竟然比真正的雌鱼更能有效地激起雄性刺鱼的欲望。这颗刺鱼“性炸弹”，是超常刺激的经典案例。超常刺激，即比真实的事物更加有效的刺激。还有另一个案例，是廷伯根发表了一张图片。图片之中，一只蛎鹬正坐在一颗与鸵鸟蛋同等大小的蛋上。和鱼类相比，鸟类有着体积更大的大脑和更好的视力，与黄蜂相比就更不用说了。但很明显，蛎鹬认为这颗与鸵鸟蛋同等大小的蛋，是非常值得它亲自孵化的。[5]

鸥、鹅和其他在地面筑巢的鸟类，对滚出巢穴的蛋存在一种固化的反应。它们会来到蛋的身边，用喙的下方顶着将其滚回巢穴。廷伯根和他的学生发现，鸥不仅会将自己的蛋滚回巢穴，还会收集鸡蛋，

甚至连木质圆筒和露营者遗弃的饮料罐都不放过。小银鸥要向父母乞求才能获得食物，它们会去啄父母喙上的红点，刺激父母在收获满满时反刍出一些鱼来。廷伯根和一位同事发现，用硬纸板做一个粗糙的假鸟头，也能非常有效地激起雏鸟的乞食行为。它们的全部所需就只是一个红点而已。雏鸟也能看到父母身体的其他部分，但那些部分是无关紧要的。

这种受限的视野并不局限于小银鸥。成年黑头鸥因为拥有深色的面部特征而引人注目。廷伯根的学生罗伯特·马什（Robert Mash）将木质假鸟头涂上颜色，来检验这种外观在其他成年黑头鸥眼中的重要性。每个鸟头都被粘在一根木棍的顶端，木棍与盒子里的电机相连，这样，马什就可以通过遥控来让鸟头上下左右移动。他将盒子埋在黑头鸥的巢穴旁边，鸟头也藏于沙下，不让黑头鸥看到。

之后，他日复一日地来到巢穴附近的隐蔽处，一边操纵假鸟头升起、转向，一边观察巢穴中的黑头鸥对假鸟头做何反应。鸟儿对假鸟头及其动作的反应，就仿佛是看到了真鸟一样。而马什使用的假鸟头不过是粘在木棍一端的仿制品，连身子、腿、翅膀、尾巴都没有，也不会叫，除了毫无生机、机械般的上升、转动、下降之外，没有任何其他动作。对于黑头鸥来说，似乎只要有一张黑脸就足以构成充满威胁的邻居。身体、翅膀或其他任何东西，在它眼里都是无关紧要的。

为了走进巢穴附近的隐蔽处，对鸟类进行观察，马什和从古至今的所有鸟类学家一样，利用了鸟类神经系统中一个早已为人熟知的局限性：鸟类并非天生的数学家。两个研究人员走进隐蔽处，之后一个人离开。如果不用上这个小手段，鸟儿就会对这个隐蔽处始终保持警惕，因为它们“知道”有人进去了。但如果它们看到一人离开，便会“假设”两个人都走了。如果连鸟类都搞不清楚一个人和两个人的区别，那么雄性黄蜂被兰花不那么完美的雌蜂模拟而蒙蔽，又有什么奇怪的呢？

我们顺着这个话题，再讲一个关于鸟类的悲剧。母火鸡在保护雏鸟时，总是奋不顾身。母火鸡要保护雏鸟不受黄鼠狼或野猫等巢穴掠夺者的侵害，而它识别巢穴抢劫犯的方法极其简单粗暴：攻击任何在巢穴附近移动的东西，除非这个东西会发出像火鸡雏鸟一样的叫声。

这一特征，是奥地利动物学家沃尔夫冈·施莱德（Wolfgang Schleidt）发现的。

一次，施莱德发现一只母火鸡残忍地杀死了自己所有的宝宝，而个中原因简单到令人心痛：这只母火鸡耳朵是聋的。在火鸡的神经系统看来，掠食者就是不会发出雏鸟叫声的移动物体。这些雏鸟虽然看起来就是火鸡雏鸟，动起来也是火鸡雏鸟，却因母亲局限性极强的“掠食者”定义而死于非命。它是发自内心地想要保护好孩子，最后却将孩子全部残杀。

火鸡的悲剧故事情节，在昆虫世界也有上演。蜜蜂触角的某些感觉细胞只对油酸这一种化学物质敏感。（它们还有对其他化学物质敏感的其他细胞。）腐烂的蜜蜂尸体会产生油酸，这种物质会刺激蜜蜂采取“殡仪行为”，将死尸从巢穴中移走。如果实验人员将油酸涂抹在活生生的蜜蜂身上，这个倒霉的小生命就会被其他蜜蜂拖走扔出巢穴，一路上拼命挣扎，极富生命活力。

昆虫大脑的体积比火鸡大脑或人类大脑小许多，昆虫眼睛的敏锐度也远远不及人类或鸟类的眼睛。除此之外，我们还知道，昆虫的眼睛看世界的方式和人眼看世界的方式有着天壤之别。伟大的奥地利动物学家卡尔·冯·弗里希（Karl von Frisch）年轻时就发现，昆虫看不见红色光，但能看到人眼看不见的紫外线。在昆虫眼中，紫外线拥有其独特的色调。昆虫眼中充满了“闪烁”的事物，至少在快速移动的昆虫眼中，这种闪烁部分替代了人类所谓的“形状”。很多人都发现，雄性蝴蝶会对从树上飘然落下的枯叶产生“交配”行为。在我们眼中，雌性蝴蝶有着一对上下翻飞的大翅膀，而在飞翔的雄性蝴蝶眼中，雌性蝴蝶就是一连串的“闪烁”，并会因此与之交配。

用一部不会移动、只会忽明忽暗闪烁的观测仪，就能轻易蒙蔽雄性蝴蝶。如果你将仪器调到合适的闪烁速率，雄蝶就会以为这是一只以同样速率挥舞着翅膀的蝴蝶。对于人类来说，条纹是静态的图案。而对于一飞而过的昆虫来说，条纹看起来是“闪烁”的，可以通过以正确速率闪动的频闪观测仪来进行模拟。从人类的角度来看，昆虫眼中的世界是如此迥异，若是从我们自身的经验出发去讨论兰花需要多么完美地模拟雌性黄蜂的形态，完全是人类一厢情愿的假设。

黄蜂本身也是一项经典实验的研究对象。这项实验一开始是由伟大的法国博物学家让-亨利·法布尔（Jean-Henri　Fabre）进行的，之后也有许多研究人员对这项实验进行了重复，其中包括廷伯根学派的成员。雌性泥蜂带着被它蜇到瘫痪的猎物回到地洞，将猎物放在巢室外面，先进去检查一下是否一切安好，再重回地面将猎物拖回巢中。当它在巢中时，实验人员将猎物从最初的放置位置移开几厘米远。当泥蜂重回地面时，它注意到原来的位置上没有了东西，并且很快找到猎物的新位置。之后，它将猎物重新拖回巢室入口处，此时距离它检查巢室内部只不过几秒钟时间。

我们想不到有什么理由可以阻止它继续下一步工作，将猎物拖入巢室。但它的程序却被重新设定到之前的一步。雌性泥蜂老老实实地将猎物再次留在地洞门口，自己独自进入巢室，进行又一番检查。实验人员重复了40遍，后来实在无聊便结束了。泥蜂的行为就像一部被设定到之前一个程序环节的洗衣机，不“知道”同一堆衣服已经连着洗了40次。

著名计算机科学家侯世达（Douglas　Hofstadter）[6]提出了一个新形容词——“掘土蜂状”（sphexish），用来形容这种缺乏灵活性、不经大脑思考的下意识行为。（掘土蜂是泥蜂家族中颇具代表性的一属。）至少从某些角度来看，黄蜂很容易被蒙蔽。这种蒙蔽与兰花精心策划的手段相距甚远。尽管如此，我们也要认识到，从人类直觉出发，认为“为了让这种繁殖策略发挥作用，必须一开始就无懈可击”的说法，是需要我们警惕的。

我一直在告诫读者黄蜂有多么容易被愚弄。说到这里，你可能会问，如果昆虫的视力如此之差，如此轻易就会被蒙蔽，那么为什么兰花还要如此大费周章地长出与黄蜂神似的花纹呢？其实，黄蜂的视力并不是一直这么差的。在某些情况下，黄蜂的眼神好得很：在长时间的捕猎之旅结束后，它们能准确地找到自家巢室的位置。廷伯根将以蜜蜂为捕猎对象的泥蜂作为实验对象，对这一能力进行了研究。他等着泥蜂飞回自己的巢室。

在泥蜂重回洞口之前，廷伯根迅速将小树枝、小松果之类的“地标”置于巢室入口周围，然后立刻撤离，等着泥蜂飞出来。泥蜂出来

之后，会围着巢室飞上两三圈，仿佛想要牢牢记住这一地区的总体情形，之后再飞去捕猎。待泥蜂飞走之后，廷伯根将小树枝、小松果移到几厘米之外的一个地方。当泥蜂回来之后，它没有回到巢室，而是飞向相对于小树枝、小松果等地标的新地点，俯冲下去。

这一次，从某种意义上讲，泥蜂又被“愚弄”了，却赢得了我们对其视力水平的尊重。似乎之前泥蜂围着巢室绕圈飞行时，的确记住了当时的具体情形，就像在脑海中拍了张照片。它似乎能认出由小树枝、小松果构成的图形，或称“格式塔”。廷伯根重复了许多次这一实验，利用了不同类型的地标，比如摆出一圈圈松果之类的，也得到了同样的结果。

现在我来讲一讲廷伯根的学生杰勒德·巴伦兹（Gerard Baerends）做过的一个实验。这个实验与法布尔的“洗衣机”实验形成鲜明对比。巴伦兹研究的泥蜂品种拉丁名为Ammophila campestris（法布尔也研究过这一品种）。这一种类的泥蜂在食物供应方面异乎寻常的积极。绝大多数泥蜂会在地洞中储存食物，并产下一枚卵，之后将地洞封上口，让幼虫自行享用。而Ammophila这个品种的泥蜂则不然，它会像鸟儿一样每天飞回地洞，照顾幼蜂，并按需进行食物补给。

若是仅仅如此还不足为奇，一只个体Ammophila泥蜂往往同时有2～3个地洞需要照料。一个地洞里有一只体形相对较大、马上就要成年的幼虫；一个地洞里有一只刚刚出生的幼虫；还有一个地洞里面的幼虫可能不大不小，正在成长阶段。很自然，3只幼虫对食物有着不同的需求，而母亲则会根据需求进行相应的照料。

巴伦兹做了一连串烦冗的实验，包括对巢穴里面的幼虫进行位置调换等，结果证实，泥蜂母亲的确会考虑每个巢穴中的幼蜂不同的食物需求。这一策略乍看来非常聪明，但巴伦兹发现，事实上这种做法并不明智，而且颇为古怪。泥蜂母亲每天早上要做的第一件事，就是对有幼虫的地洞进行一轮巡查。每个巢穴在清晨巡查时的状态，是母亲借以决定一整天食物供给量的标准。无论巴伦兹在清晨巡查结束后对巢穴内的幼虫进行多少次位置互换，也不会影响到母亲的食物供给行为。就好像是泥蜂母亲只有在清晨巡查时才会开启巢穴评估装备，

随后便将其关掉，以便多省些电，为一天中随后的活动做准备。

这一实验告诉我们，泥蜂母亲的脑袋里有一套用于计数、评估，甚至计算的复杂装备。在此基础上，我们就能得出结论，只有与雌蜂在各个细节上相似度极高的兰花，才能让黄蜂上当受骗。但与此同时，巴伦兹的实验也告诉我们，黄蜂在某些情况下会表现出选择性无视，在“洗衣机”实验中，仅需挪动一样东西，便能轻轻松松将黄蜂唬住。这就让人觉得，哪怕兰花与雌蜂仅有一点点相似之处，说不定也能让雄蜂就范。黄蜂的故事，让我们懂得一个道理，那就是永远不要从人类判断力的角度出发，去评估这类问题。永远不要说，“我绝不相信某某生物能通过循序渐进的选择一步步进化而来”，也永远不要听信这类说法。我将这类谬误称作“个人怀疑论”。这样的说法早晚会让你面临尴尬的处境。

我所反驳的论证，其要义如下：某生物或行为的渐进式进化根本不可能发生，因为“很明显”，某生物或行为若想发挥效用，就必须是完美的。截至目前，我的回应都是在摆事实、讲道理，说明黄蜂和其他动物在看世界时与人类有着完全不同的视角，而其实在许多情况下，就连蒙蔽人类也不是多么困难的事情。与此同时，我也希望提出其他几个论点。这些论点更有说服力，也更具普遍性。让我们不妨用“硬脆”（brittle）这个词，来指代一个若想发挥效用就必须达到完美的策略或有机体，比如牧师来信中所说的模拟雌蜂的兰花。

我发现自己很难想出某个绝不含糊的“硬脆”设备，而这一点让我感觉意义非凡。飞机并不硬脆，因为虽然我们都愿意乘坐所有零件均装配到位的波音747，但就算一架飞机丢失了一两个像发动机这样重要的设备部件，也照样能飞。显微镜也不硬脆，因为虽然初级版显微镜只能让人看到模糊不清的图像，但你还是能将小物件看得更清楚，总比没有显微镜的情况要好。收音机也不硬脆，如果其某些方面出了毛病，可能保真度有所下降，声音变得嘈杂扭曲，但你依然能大致听懂里面传来的话语。

现在，我已经盯着窗外苦思冥想了十分钟，希望想出一个人工制造的硬脆设备的优秀案例，也只想出了一个：拱门。拱门具备典型的硬脆特征，因为只要将其两侧连为一体，拱门就具备了极高的强度和

稳定性，这便是“硬”。但在两侧连为一体之前，任何一侧都无法自行“站立”，这便是“脆”。建起拱门时，我们必须要利用脚手架才行。在拱门的建设完成之前，脚手架能提供暂时的支撑作用。建好之后将脚手架移除，拱门可以在相当长的一段时间内屹立不倒。

从人类技术的角度出发来看，原则上，设备没有理由不是硬脆的。工程师在画板上设计设备时，完全可以将其设计为在半完工状态下根本无法使用。但是，就算在工程领域，我们也很难找到一个真正硬脆的设备。我相信，在有生命的物种身上，这个道理就更讲得通了。让我们来看看神创论者在宣传中提供的生物界之中几个貌似硬脆的案例。黄蜂和兰花的故事只是自然界诸多神奇的拟态现象之中的一个，许多动物和某些植物都因为自身长得和其他东西（通常是其他动植物）相像而获得了优势。

通过拟态，动植物生命中的方方面面都得到了提升或颠覆：捕获食物（老虎和猎豹在光影重重的林地跟踪猎物时几乎是销声匿迹的状态；鮟　鱇　鱼会模拟它们所潜伏的海底的样子，通过一根长长的“鱼竿”来引诱猎物，鱼竿的一端是模拟蠕虫的诱饵；一些种类的萤火虫会模拟另一个物种在求偶时的闪光模式，引来雄性，将其一口吃掉；剑齿鳚鱼会模拟专长为大型鱼类做清洁工作的其他鱼类，等大鱼为它们授予近身特权，便一口咬掉其鱼鳍）；避免被吃掉（各类被捕食者会模拟树皮、树枝、新鲜的绿叶、卷曲的黄叶、花朵、玫瑰的尖刺、海草叶子、石头、鸟屎，以及其他动物熟知的毒物）；诱骗捕猎者远离幼崽（反嘴鹬和许多在地面筑巢的鸟类会模拟折翼鸟儿的身形和姿态）；获取对卵的照料（布谷鸟鸟蛋与寄生宿主的蛋十分相似；口育型鱼类中某些物种的雌鱼在侧腹上长有貌似假卵的斑点，以此来吸引雄鱼将真卵放入口中进行孵化）。

关于所有上述案例，总会有人认为，这些拟态除非是完美无瑕的，否则不可能起效。在黄蜂和兰花的案例中，我讲到了黄蜂在感知能力上的不完美，也讲到了被拟态蒙蔽的其他受害者。实际上，在我看来，兰花在模拟黄蜂、蜜蜂或苍蝇方面并没有生动到让人叹为观止的地步，而叶虫对树叶的模拟才叫精致。也许在树叶拟态上，人眼看东西的方式与捕猎者（据推测是鸟类）的眼睛看东西的方式比较相近

吧。

从更普遍的意义上来讲，拟态必须达到完美才能起效的观点也是错误的。无论捕猎者的眼神多好，其所具备的观察条件也不会永远保持完美。而且，观察条件不可避免会一直改变，从特别差到特别好，持续循环。想一想那些你非常熟悉的东西，熟悉到你不可能将其错认为其他东西或人。假设你有一位密友，你与她关系很近，非常要好，不可能将她错认为别人。那位密友从非常远的距离向你走来，一定存在一个足够远的距离，导致你根本看不见她；也有一个非常近的距离，可以让你看清她的每一个面目特征，每一根睫毛，每一个毛孔。

而在中间段的距离上不存在任何突如其来的变化，你对她的识别是一个逐渐淡入或淡出的效果。军队的步兵指南讲解中对此阐释得非常清楚："相隔180米的距离，身体的所有部分都非常清晰；相隔270米的距离，面部轮廓变得模糊；相隔360米的距离，看不到人脸；540米的距离，头部是一个小点，身体是个长条。"在越走越近的密友这个例子上，你也很可能会在突然之间认出她来。但在这里，距离为突然识别提供了一个概率梯度。

距离会以这样或那样的方式提供一个可见性梯度。从本质上讲，可见性是循序渐进的。对于"模特"和拟态者之间的相似程度而言，无论是近似到精妙绝伦，还是根本不像，一定存在一个距离让捕猎者的眼睛在这个距离上是会被拟态者所蒙蔽的，也存在一个相对更短的距离可以让捕猎者不那么容易被蒙蔽。随着进化过程向前推进，自然选择会偏好那些循序渐进、臻于完美的相似性，而被蒙蔽的关键距离也逐渐越来越近。我用"捕猎者的眼睛"来代表"需要被蒙蔽的任何生物的眼睛"，某些情况下也可能是猎物的眼睛、养父母的眼睛、雌鱼的眼睛等。

我在面向儿童的公开演讲中对这种效应进行过演示。我的同事，牛津大学博物馆的乔治·麦加文博士（Dr. George McGavin）亲手帮我做了个林地的地表模型，上面布满了小树枝、落叶和苔藓。他还在上面巧妙地摆放了几十只昆虫标本。其中的一些虫子非常显眼，比如闪烁着金属蓝光的甲虫；还有一些虫子则完全隐身于背景之中，包括竹节虫和模拟落叶的蝴蝶；另外一些虫子，比如棕色的蟑螂，处于上述

两者的中间状态。

我邀请观众席中的孩子们慢慢走向这个模型，寻找昆虫，看到一只就大声报出来。当孩子们距离足够远时，就连反射着光芒的虫子都看不见。慢慢走近后，他们先是看到了闪光的甲虫，随后看到了可视性处于中间位置的蟑螂，最后看到了伪装技术精湛的虫子。而伪装技术最佳的昆虫，就算孩子们近距离盯着它们看，也分辨不出来。当我道明真相时，孩子们都惊叹不已。

距离并非这类论证可以运用的唯一梯度，光线也是一种。夜晚的时候大多数物种基本上什么都看不到，就算非常粗糙的拟态也能蒙混过关。在正午时分，只有极为细腻精湛的拟态才能帮助生物逃过一劫。在两个时间段之间，清晨、傍晚、薄暮、阴雨、雾霭、雷暴，可见性始终处于平滑不间断的持续变化之中。在光线的梯度中，自然选择也会偏好逐渐提升的拟态相似准确性，因为在任何给定的相似程度上都存在某个水平的可见性，此时，该特定相似程度可以发挥极大的作用。随着进化不断发展，逐渐提高的相似程度便造就了生存优势，因为可以被蒙蔽的关键光线强度变得越来越亮。

视角也是一个类似的梯度。昆虫的拟态，无论逼真或是粗糙，有时会位于捕猎者的视野盲区，有时则会毫无保留地全景呈现在光天化日之下。一定存在一个极其边缘化的视角，就算是最差的拟态，也能逃过追踪。也一定存在一个极其正大光明的视角，就算是最精妙的拟态也无法幸免于难。位于两者之间的是一个逐渐变化的视角。对于任何给定的拟态水平，都存在一个关键角度，在这里，拟态的一点点提升或下降都会带来天差地别的影响。随着进化不断向前发展，自然选择会偏好逐渐提升的拟态程度，因为可以被蒙蔽的关键角度变得越来越靠近中心。

还有一个梯度是敌人的眼睛和大脑，我在本章之前的段落中已经提到了一点这方面的内容。对于模特与拟态之间的任意相似程度，很可能存在一双会被蒙蔽的眼睛和一双不会被蒙蔽的眼睛。随着进化不断向前发展，自然选择会偏好那些不断提升的拟态，因为被蒙蔽的捕猎者眼睛越来越复杂精准。我不是说捕猎者会在猎物拟态提升的同时进化出更棒的眼神，虽然事实可能的确如此。我的意思是说，世界上

总会存在眼神好的捕猎者和眼神差的捕猎者。所有这些捕猎者都会对猎物形成威胁。粗糙的拟态只能愚弄眼神不好的捕猎者，优质的拟态几乎能在所有捕猎者眼前蒙混过关，两者之间是一个平滑的连续阶段。

说到眼神的好坏，我想起了神创论者津津乐道的千古谜题——一半的眼力有何用处？自然选择怎么可能偏好不完美的眼睛？之前，我针对这一问题进行了阐释，借助世界上实际存在的各门生物，给出了处于中间阶段的几种眼睛的实例。现在，我要将眼睛纳入之前建立好的理论梯度评价体系之中。眼睛可以执行的各种任务构成了一个连续梯度。

人们用眼睛来识别计算机屏幕上出现的字母，只有视力良好的眼睛才能做到这件事。我已经上了点年纪，不戴眼镜就无法阅读。现在这副眼镜的度数还不高，等我再上点年纪，眼镜的度数就会越来越高。没有眼镜我会发现，近处的细节越来越难看清，而且视力的模糊程度是逐步下降的，而这里就又出现了一个连续统一体——年龄。

任何一位正常人类的眼睛，无论岁数多大，都比昆虫的眼睛要好。有些任务就算是视力相对不好的人也能完成，还有些任务哪怕是接近失明的人也能完成。即使你视力模糊也可以打网球，因为网球是个较大的物体，就算没有焦点，你也能看清网球的位置和运动状态。蜻蜓的视力虽然从人类的标准看来实在算不上清晰，但在昆虫界里已属佼佼者了。蜻蜓可以在半空中捕捉上下翻飞的昆虫，这项任务的难度与打网球不相上下。视力稍差一些的蜻蜓也不会撞上墙壁、走到悬崖边缘或掉进河里。

而视力更差的蜻蜓也能分辨出影子，而影子很可能预示着头顶上方有个捕食者压境而来。视力再差一些的蜻蜓则可以看出白天和夜晚的区别，这样就能与其他伙伴协调繁殖季节，也能知道什么时候应该睡觉。眼睛能够执行的任务难度是连续递进的，对于任何给定视力的眼睛，从一目千里到一片模糊都存在某个任务水平。对于这个水平的任务来说，视力的一点点递减或提升都会产生翻天覆地的影响。由此，我们就不难理解眼睛循序渐进的进化，从粗糙的开端到平滑连续的中间发展阶段，再到老鹰或年轻人所拥有的完美视力。

这样来看，神创论者的问题“一半的眼力有什么用”不过是小菜一碟，我们不费吹灰之力便能给出答案。一半的眼力只不过是比49%的眼力强出1%，而49%的眼力好过48%的眼力，其中的差别非常之大。按照上面的逻辑，紧跟着便是下面这样的质疑，而这段质疑摘自一位重量级人物：“从物理学家的角度来说[(7)]，我不敢相信一个像眼睛这样复杂的器官，有足够的时间从虚无缥缈中进化而来。你真的认为时间足够吗？”这个问题源自个人怀疑论。尽管如此，人们还是想要得到答案，我在宏伟壮阔的地质时间面前也常常望而却步。如果一步代表一个世纪，那么全部的公元纪年就相当于一击板球的距离。以同样的比例表示多细胞动物的起源时间，你就要从纽约一路走到旧金山。

如此看来，宏伟壮阔的地质时间有着摧枯拉朽的巨大力量。只要想想从美国东海岸走到西海岸的距离，你就能明白眼睛的进化用了多长时间。而最近由两位瑞典科学家丹·尼尔森和苏珊·佩尔格共同进行的一项研究显示，即使是地质时间一个微不足道的零头，也是非常充裕的。插一句话，当人们说起眼睛时，一般指的是脊椎动物的眼睛，但在许多种类的无脊椎动物中，能看到图像的眼睛已经从无到有独立进化成形40～60次。在这些独立进化中，人们发现了至少9种特色鲜明的设计原则，包括针孔眼、两种类型的摄像机镜头眼、曲面反射镜眼，以及几种复眼。尼尔森和佩尔格重点研究了摄像机镜头眼，脊椎动物和章鱼的眼睛就属于这一类型。

我们应如何去估算给定的进化变化量所需要的时间呢？首先，我们需要找到一个衡量进化步骤大小的单位。比如以现有情况为基准，将变化量设定为百分比。尼尔森和佩尔格利用连续变化的1%作为单位衡量解剖学意义上的变化量，这不过是个方便易用的单位，就像卡路里一样。卡路里的定义是完成特定活动量所需的能量。当变化都发生在同一维度时，1%这个单位是最方便易用的。

举个不太可能发生的例子，自然选择对天堂鸟尾羽的偏好是越长越好，那么其尾巴从1米长进化到1 000米长需要多少个步骤？业余观鸟者往往不会注意到1%的鸟尾长度增长。尽管如此，但鸟尾长到1 000米长所需的步骤出奇的少，还不到700步。

鸟尾从1米长到1 000米长荒谬至极，那我们如何将眼睛的进化放到同样的尺度中去呢？问题就在于，在眼睛的问题上，许多不同组件要同时发展出许多构造来。尼尔森和佩尔格的任务是建立起眼睛进化的计算机模型，来回答两个问题。第一个问题就是我们在前几页反复提及的，但他们的提问方式更具系统性，用到了计算机：从皮肤细胞到完整的摄像机镜头眼是否存在一个平滑的变化梯度，其中每一个中间阶段都有一个提升？（和人类设计师不同，就算山谷的另一边有一座极富吸引力的更高的山头，自然选择也不会走下坡路。）第二个问题是这部分讨论的开篇话题：必要的进化变化量需要多长时间来完成？

尼尔森和佩尔格在计算机模型中并没有试图模拟细胞的内部工作。他们讲述的故事开始于一个单一感光细胞的出现，我们姑且称之为光细胞。将来若是能再建一个计算机模型，专注于细胞内部的层面，展示出光细胞是如何从更早期、更通用的细胞一步步进化而来的，也是很有意义的一件事。做事情总要一点点来，尼尔森和佩尔格决定先将光细胞出现之后的问题搞定。他们从组织层面入手，也就是说，他们关注的是构成细胞的物质，而不是个体细胞。皮肤是一种组织，肠壁、肌肉和肝脏也是组织。在随机突变的影响下，组织会发生各种变化。组织层的面积会变大、变小，也会变厚、变薄。在透镜组织这种特殊的结构下，随机突变也会改变部分组织的折射率，即对光的折射能力。

相比之下（例如擅长奔跑的非洲猎豹的腿部），对眼睛进行模拟的好处在于，利用初级光学定律就可以很方便地对其性能进行测量。眼睛可用一个二维横截面来表示，计算机能轻松计算出其视觉灵敏度或空间分辨率，并给出一个数值。若想用数值表示非洲猎豹的腿部或脊椎性能，难度就要大出许多。尼尔森和佩尔格在平面着色层的上面覆盖了一层平面视网膜，再在视网膜上面覆盖了一层平面透明保护层。他们允许透明层发生局部的折射率随机突变，随后让模型随机自我变形，唯一的限制就是变化必须很小，必须是相对于先前情况的进步。

计算机模型迅速而果断地得出了结果。随着眼睛模型在计算机屏

幕上自我变形，从开始时的平面到浅表的凹陷，再到不断深化的杯状结构，而这就形成了稳步上升的视觉灵敏度曲线。透明层不断变厚，填满杯状结构，形成平滑的外表层。之后，就像变魔术一样，这个透明填充物的一部分汇聚成为拥有更高折射率的局部球状结构。其折射率并非全部都比其他区域更高，而是表现为一个折射率的梯度，就像优质的折射率渐变透镜的球状区域一样。人工透镜制造者并不了解渐变折射率透镜，但这种透镜在生物眼睛中十分常见。

人类通过将玻璃打磨成特定形状来制作透镜，我们制作复合透镜，譬如现代照相机所使用的那种昂贵的泛着紫光的透镜，是将几层透镜叠放在一起，而其中每一块透镜都是由厚度一致的玻璃制成的。相比之下，渐变折射率透镜是通过其自身物质形成持续变化的折射率的。通常情况下，透镜中心位置具有很高的折射率。鱼类的眼睛就具备渐变折射率透镜。现在，人们早已了解到，对于渐变折射率透镜来说，在获得透镜焦距半径比的某个特定理论最优值时，就能得到毫无像差的最佳成像结果。人们将这一比率称为马希森比率（Mattiessen's ratio）。尼尔森和佩尔格的计算机模型正确地呈现出了马希森比率。

现在我们来看下一个问题，所有这些进化需要多长时间才能实现？为了回答这个问题，尼尔森和佩尔格需要对自然种群的遗传学设定一些条件。他们需要为模型提供一些合理的量化值，比如“遗传可能性”等。遗传可能性是对遗传主导下的变化范围的测量。研究人员最常使用的方法是将同卵双生子与异卵双生子作对比，测量同卵双生子的相似程度。

一项研究发现，人类男性腿长的遗传可能性是77%。100%的遗传可能性意味着你可以测量同卵双胞胎中一位的腿长，由此获知另一位腿长的确切数据，就算两人是被分开抚养的，结果也是一样。0%的遗传可能性意味着同卵双胞胎彼此的腿长相似度，并不比与某个给定环境的指定群体中随机抽样得来的腿长相似度有更大区别。人类的其他一些遗传可能性的测量结果为：头部宽度95%，坐姿高度85%，手臂长度80%，身高79%。

遗传可能性的数值一般情况下都是高于50%的，因此，尼尔森和佩尔格在眼睛模型中安全稳妥地输入了遗传可能性等于50%这个数

值。这是个保守的或称“悲观的”假设。与70%这样一个更加贴近真实情况的假设相比，悲观假设会延长眼睛进化的时长估算。他们宁愿过度估算，也不希望人们因为看到像眼睛这样复杂的器官可以在较短的估算时间中进化完成，从而在直觉上对估算结果产生怀疑。

出于同样的原因，尼尔森和佩尔格为变化区间的系数（即一般情况下群体中存在多少变化）和选择强度（因视力提升所获得的生存优势量）也指定了悲观值。他们甚至还大费周章地假设，任意一代的眼睛每次只会有一个部分与上一代有所不同：眼睛不同部分同时发生变化可以大幅加速进化过程，但这种可能性在模型中被抹杀了。而即使以这些保守假设为前提，从皮肤进化到鱼眼所需的时间也很短——还不到40万代。关于讨论到的这类小型动物，我们可以假设一代一年，由此看来，用不了50万年就能进化出非常优秀的摄像机镜头眼。

从尼尔森和佩尔格的研究结果来看，动物王国中的各类眼睛至少经历了40次独立进化。任意世系之内都有充裕的时间让眼睛从无到有进化出1　500次。考虑到小型动物典型的世代长度，眼睛进化所需的时间根本不像某些人说的那样无比漫长，而是短得让地质学家都无法测量！从地质时间的角度来看，不过一眨眼的工夫。

进化的一个关键特征就是其渐进性。这是个原则性问题，而非事实问题。进化的某些阶段也可能突然发生转折。事实可能如此，也可能并非如此。快速进化过程中可能存在停顿，甚至是突如其来的大突变（将孩子与父母区分开来的重大变化）。地球物种肯定遭遇过一瞬间的大灭绝（可能是因为巨大的自然灾害，比如彗星撞击地球），而某种动物灭绝之后，先前的“替补”会迅速发展起来，填补空缺，就像哺乳动物取代了恐龙的位置一样。

从实际情况来看，进化很可能不是一直保持循序渐进的状态的。但是，在解释诸如眼睛等复杂的、表面看来极具设计痕迹的器官的由来时，进化必须是循序渐进的。如果在这些情况下不具备渐进性，进化就失去了解释力。没有了渐进性，我们就回到了用奇迹解释一切的原点，而奇迹不过是完全无从解释的同义词。

眼睛和通过黄蜂授粉的兰花之所以让我们深感震撼，是因为其存

在的非偶然性。仅凭运气便同时将所有组件装配完成，造就出这两样东西的概率是如此之小，简直不可能在真实世界中实现。一小步一小步向前迈进的渐进式进化，每一步都有些运气成分，又不是太过幸运，便是这一谜题的答案。如果否认渐进性，那么这个谜题就没有了答案，最多只能是换种说法将谜题重复一遍而已。

关于循序渐进的中间阶段究竟是什么样的，有时我们很难明白，这也是对人类智慧和能力的考验。但就算没想出来，也只能说明这是我们自身的问题。并不能因为我们想不出来，就以此作为证据，说明渐进式中间阶段不存在。在思考渐进式中间阶段这个问题时，对我们的智慧构成的难度最高的挑战之一就是卡尔·冯·弗里希通过其经典实验所发现的著名的蜜蜂"舞蹈语言"。在这里，进化的终极产物看起来是如此复杂，如此天赋异禀，与我们想象中的寻常昆虫行为差距如此之大，很难构想其中间阶段会是什么样子。

蜜蜂通过精心编码的舞蹈传递花朵的位置。如果食物距离蜂巢很近，它们就会跳起"圆圈舞"。这样的舞蹈会令其他蜜蜂振奋起来，倾巢而出，在附近寻找花朵。这并没有什么了不起的特别之处，真正了不起的是当食物距离蜂巢较远时蜜蜂做出的行为。发现食物的"侦查员"会跳起"摇摆舞"，舞姿的幅度和时机会让其他蜜蜂知道从蜂巢出发，要往哪个方向飞出去多远才能找到花朵。蜜蜂的摇摆舞都是在蜂巢内部的垂直面进行的。蜂巢内部漆黑一片，其他蜜蜂根本看不到舞蹈动作，只能通过感觉了解舞蹈传达的信息，同时也会利用听觉，因为舞蹈的蜜蜂在表演过程中会发出有节奏的细微声响。舞蹈的轨迹构成了一个数字8的图形，中间部分是直线。正是直线的方向可以让其他蜜蜂了解到食物的方位。

蜜蜂舞蹈中的直线轨迹并不直接指向食物所在的方位，它们也做不到这一点，因为表演位置是在蜂巢的垂直表面，而无论食物在何方，蜂巢本身的朝向都是固定不变的。食物的定位需要在水平面才能进行，垂直的蜂巢更像是钉在墙上的地图。在地图上画出的一条线不会直接指向某个特定的目的地，但我们可以通过人为制定的规则来读懂其方向所在。

为了搞明白蜜蜂所使用的规则，我们必须先要知道，蜜蜂和许多

昆虫一样，利用太阳作为导航的罗盘。人类也会用类似的方式辨别方向。这种方法存在两个缺点。第一，太阳经常会被云遮住。蜜蜂通过人类不具备的感官能力解决了这一问题。冯·弗里希发现了蜜蜂能识别光线的偏振方向，通过这种能力，蜜蜂就能在看不到太阳时了解太阳的方位。第二，太阳随着时间的推移会在空中“移动”。蜜蜂利用自身的生物钟来适应太阳的移动。

冯·弗里希发现，搜寻食物归来，在蜂巢中待了好几个小时的跳舞蜜蜂会慢慢调整舞蹈中的直线轨迹，就好像这段直线是24小时制钟表的时针一样。这一发现简直让人不敢相信。蜜蜂在蜂巢之中是看不到太阳的，但它们还是会缓慢调整舞蹈指向的角度，以便与太阳的移动保持同步。因为生物钟告诉它们，这一定是外面发生的实际情况。奇妙的是，南半球的蜜蜂种群也会做同样的事，不同的是它们会因地制宜，方向相反。

现在，我们来讨论一下舞蹈代码本身。指向蜂巢正上方的舞蹈步伐标志着食物位于和太阳相同的方向，指向蜂巢正下方的舞蹈步伐标志着食物位于和太阳相反的方向。所有中间段的角度就是食物相较于太阳所在的位置。向上偏左50°标志着食物在水平面太阳方向偏左50°。但是，舞蹈的准确程度并不是精确到每一度，也本不应该如此精确，因为将罗盘分成360°是人类制定的规则。蜜蜂大约将罗盘分成了8个度。实际上，人类的业余定向水平也大致如此。我们也是将非正式的罗盘分成8个象限，分别是北、东北、东、东南、南、西南、西、西北。

蜜蜂的舞蹈也会对食物的距离进行编码。换句话说，舞蹈的各个方面——转向的速度、摇摆的速度、发出声音的速度都与食物的距离相关，其中任一特征，或特征的任意组合，都能被其他蜜蜂用来读懂食物的距离。食物距离蜂巢越近，舞蹈节奏就越快。你可以这样想，与在远处找到食物的蜜蜂相比，在蜂巢附近找到食物的蜜蜂更加激动，也没那么疲劳。这样的思路并不仅仅是为了方便记忆，从中我们还可以发现舞蹈进化方式的线索。

总的来说，负责搜寻的蜜蜂找到了一处理想的食物来源，它满载着花蜜和花粉回到蜂巢，将货物转交给工蜂，之后便开始跳舞。它急

匆匆地一圈又一圈跳出紧凑的“8”字形。其他工蜂纷纷围拢过来，一边感觉，一边倾听。它们默默计数声响的频率，也许还包括转向的频率。在蜜蜂摇曳着腹部翩翩起舞时，其他蜜蜂测算着舞步中的直线轨迹在垂直面上形成的角度。随后，它们涌向蜂巢的大门，从一片黑暗中冲向阳光普照的花花世界。它们观察太阳的方向，不是太阳的垂直高度，而是在水平面上形成的罗盘方位。蜜蜂们沿直线飞行，其相对于太阳的角度与最初“侦查员”在蜂巢垂直面舞蹈的角度相符。它们继续沿这一方位向前飞行，飞到一个与跳舞蜜蜂发声频率（对数）成比例的距离。有意思的是，如果“侦查员”蜜蜂在寻找食物时绕了弯路，那么它在舞蹈中指明的方向不是弯路的方向，而是重建的罗盘方向。

跳舞的蜜蜂的故事听来让人难以置信，也的确有些人不相信这是真的。我会在下一章讨论这些质疑的观点，并介绍科学家得出切实证据的实验。本章主要是介绍蜜蜂舞蹈的渐进式进化——其进化过程中的中间阶段是什么样子的，舞蹈尚未完善之时又是如何发挥作用的？

另外，问题的提法也有点不对。没有任何生物能在“不完整的”“中间阶段”的状态下生存。如今回头来看，那些古时候的、早就离世的蜜蜂的舞蹈，可以被看作发展到现代蜜蜂舞蹈的中间阶段。而那些古蜜蜂也曾活得很好。它们也经历过完整的蜜蜂人生，根本没想过自己是在“走向”某些“更好”状态的半路上。而且，“现代”的蜜蜂舞蹈也并非终极版本，等人类和这批蜜蜂离开很久之后，舞蹈可能还会进化成更加精彩的样子。尽管如此，我们还是要解答现在的蜜蜂舞蹈是如何通过渐进的方式一点点进化而来的，以及那些渐进过程中的中间阶段是什么样子的，又是如何发挥作用的。

冯·弗里希本人就研究过这个问题。他采用的方法是在蜜蜂谱系的现代远亲身上寻找答案。这些远亲并非蜜蜂的祖先，而是与它们同处一个时代，但这些远亲可能保留了祖先的特征。蜜蜂本身是温带昆虫，在中空的树干或树洞中筑巢。与蜜蜂亲缘关系最近的是热带蜜蜂，热带蜜蜂通常会在开放区域筑巢，在树枝或突出的岩层上筑起悬于其上的蜂巢，因此它们能在舞蹈时看见太阳，无须利用垂直面的方位来“标识”太阳方向。太阳始终就在那里。

小蜜蜂（Apis　florea）是热带蜜蜂的一种，它们在蜂巢顶端的水

平面上跳舞，舞蹈中的直线轨迹直接指向食物的方位。在这种情况下，它们无须采用地图思维，直接指出来就行了。这样的舞蹈可以被看作实现拥有地图理解能力的过渡阶段，那么在此阶段之前和之后的中间阶段是什么样子的？小蜜蜂舞蹈的前身是什么样的？为什么刚刚找到食物的蜜蜂会忙不迭地一圈又一圈跳起“8”字舞，而其中的直线轨迹能直接指向食物所在的方向？冯·弗里希认为，这是起飞之前的仪式化行为。在舞蹈进化出来之前，完成卸货的“侦查员”会转身向同一个方向再次出发，飞回食物所在地。为了准备冲出蜂巢，蜜蜂需要将头部调转到正确的方向，还可能会走几步。

自然选择如果鼓励其他蜜蜂跟随它一起出发，就会对起飞跑动阶段的夸张动作或延时行为产生偏好。也许，舞蹈就是带有仪式感的、不断重复的起飞跑动。这样的说法有点道理，因为无论蜜蜂是否跳舞，都会直截了当地跟随彼此寻找食物源头。人们认为这一说法存在合理性的另一个原因，就是舞蹈中的蜜蜂会稍稍张开翅膀，仿佛在准备飞翔。它们会震动翅膀的肌肉，不像起飞时那么用力，但也足够发出声响。而这个声响也是舞蹈信号中非常重要的一部分。

对起飞跑动阶段采取延时和夸张行为的一个显而易见的方法就是不断重复。重复就意味着回到起始点，再一次沿食物所在方向走出几步。有两种方法可以回到起始点：在跑道的尽头要么向左转，要么向右转。如果蜜蜂一直向左转或一直向右转，就会对究竟哪个方向是真正的起飞方向，哪个方向是回到跑道起点的回头路含混不清。避免含混不清的最佳方式就是交替着向左转、向右转，于是就有了通过自然选择得来的“8”字图案。

食物距离和舞蹈节奏之间的关系又是如何进化而来的呢？如果舞蹈节奏与食物距离正相关，就很难解释清楚。但实际情况恰恰相反：食物越近，蜜蜂的舞蹈节奏越快。我们从中能直接看到一条合理的渐进式进化发展路线。在舞蹈进化成如今的模样之前，“侦查员”可能已经开始表演仪式化的、不断重复的起飞跑动，但没有配合特定的速度。当时的舞步节奏可能全凭蜜蜂的心情。想象一下，如果一只蜜蜂刚刚从几千米之外飞回巢中，还背负着沉甸甸的花蜜、花粉，那它有心情围着蜂巢脚步飞快地跳起舞吗？没有，它很可能已经很累了。如

果那只蜜蜂刚刚发现蜂巢附近就有一处繁花似锦的食物源头，那么等它返回巢中，也依然会心情愉快，能量充沛。不难想象，最初偶然形成的食物距离和舞蹈节奏之间的关系，后来会变成仪式，表现为一种正式而可靠的代码。

现在我们来看看最具争议的中间阶段。直线舞蹈轨迹直接指向食物方位的古老舞蹈是怎么变成垂直面的舞蹈，令其与蜂巢垂线的夹角成为食物方向与光线之间夹角的代码的呢？这种转变的必要性，一方面在于蜂巢内部漆黑一片，根本看不到太阳，另一方面在于在垂直蜂巢中跳舞无法直接指向食物方位，除非舞蹈所在的平面本身碰巧指向食物所在的方向。但这还不足以证明上述转变是必要的。我们还要解释这一艰难转变是如何通过合理的一系列的中间阶段得以实现的。

这个任务看似十分艰巨，但与昆虫神经系统相关的知识已经帮助我们找到了答案。下面这项了不起的实验，已经在从甲虫到蚂蚁的各类昆虫身上进行过。在点亮电灯的情况下，一只甲虫在水平木板上行进。首先要说明的是，昆虫会利用光线罗盘辨别方向。调整灯泡的方位，昆虫也会相应调整行进方向。如果昆虫行进方向保持与光线方位的30°夹角，那么在调整光源位置之后，昆虫也会调整路线，继续保持30°夹角。事实上，你可以将光线看作舵柄，以此来随意操纵甲虫的行进方向。

昆虫的这种特征早就为人所熟知：它们利用太阳、月亮或星星作为罗盘，你可以用一个灯泡轻而易举地蒙蔽它们。接下来让我们来看看真正有趣的实验。关上灯，同时将木板调整成垂直状态，我们会看到甲虫不为所动，继续行进。说也奇怪，甲虫会调转行进方向，令其与垂线夹角保持之前的状态，在我们的例子中是30°。谁也不知道为什么会发生这样的现象，但事实就摆在我们眼前。乍看来，这一现象似乎揭示了昆虫神经系统的某种巧合——感官的混淆，重力感和光感互相搭错了线，有点像人类遭受当头一棒时会眼冒金星。无论如何，这样的神经系统都为蜜蜂舞蹈的“直线轨迹代表太阳”代码的进化搭起了不可或缺的桥梁。

如果在蜂巢内部点亮一盏灯，那么蜜蜂就会放弃自身的重力感，转而利用光源的方向，直接作为代码中的太阳指向。这一现象颇具启

发性。这样的事实早就为人所知，也被用在了一场构思极为精巧的实验之中。这场实验最终找到了蜜蜂舞蹈能真正发挥作用的证据，具体内容我将在下一章继续讨论。与此同时，我们还发现了现代蜜蜂舞蹈从简单的开始阶段，一步步经过中间阶段发展而来的颇具说服力的渐进历程。

我之前以冯·弗里希的观点为基础所讲述的故事可能并不完全正确。但某些和这个故事有相似之处的事情的确发生过。我讲这个故事，是将其作为对自然怀疑论的解答，是为了应对人们在面对精妙绝伦而又极其复杂的自然现象时所产生的个人怀疑论观点。持怀疑论者会说："我无法想象出存在一连串合理的渐进式中间阶段，因此这种东西根本就不存在，自然现象就是源于自发的奇迹。"冯·弗里希阐述了一连串中间阶段存在的合理性。即使这与曾经发生过的实际情况并不完全相符，其合理性也足够用来挫败个人怀疑论。我们之前讲过的所有其他案例，从模拟黄蜂的兰花到摄像机镜头眼，也是同样的道理。

大自然中数不胜数的奇妙而迷人的现象都可以被质疑渐进式达尔文主义的人们用来作为其论据。举例来说，有人曾请我解释生活在大西洋深处海沟之中的生物的渐进式进化。那里终年一片漆黑，水压超过1 000个大气压。大西洋深处海沟之中灼热的火山口区域，生活着由各种动物组成的群落。那里的细菌利用火山口的热量，用硫而非氧作为新陈代谢的能源，构建起了迥异的生物化学流程。体型更大一些的动物组成的群落也依赖于这些细菌，就像寻常的生命依赖于从阳光中获取能量的绿色植物一样。

以硫为能源的群落之中的动物与生活在其他地方的更为常规的动物保持着亲缘关系，那么它们是如何进化而来的，又经历了怎样的中间阶段呢？论证的形式和先前的一模一样。我们所需要的就是至少存在一个自然梯度，而随着我们深入海洋深处，就会发现各种各样的梯度。1 000个大气压是非常可怕的，但与999个大气压相比，这只是在量化角度上多了一点点而已，而999个大气压也只不过是比998个大气压多了一点点而已，以此类推。

海洋中存在水深的梯度，从水平面一路途径所有的中间阶段，到

达10 000米。水压从1个大气压平滑上升到1 000个大气压，光线强度从海面明亮的日光平滑过渡到海底的一片漆黑，只有极为罕见的聚集在鱼类发光器官中的发光细菌才会偶尔打破这片沉寂，没有突然出现的断点和边界。对于每一个水平的水压和黑暗程度来说，都有适应于其中的特定动物，而这些动物只与生活在其1米以下、暗一流明处的动物有一点点不同。梯度的例子不胜枚举，本章内容已经够多，就不继续啰唆了。华生，你了解我的方法，大胆去用吧！



RIVER
OUT
OF EDEN

A Darwinian View of Life

04
效用函数





之前讲到过的给我来信的神职人员从黄蜂身上找到了信仰，而达尔文则在另一种动物的帮助下放弃了信仰。他写道：“我实在无法说服自己，慈悲为怀、神通广大的神会有计划地创造出姬蜂，并令其蓄意在活生生的毛虫体内进食。”实际上，达尔文逐渐丧失宗教信仰有着更为复杂的原因。他也因为担心会惹恼虔诚信教的妻子艾玛，而不愿提及有关信仰的话题。达尔文关于姬蜂的文字成为一段格言。他提到的那种令人毛骨悚然的习性，在姬蜂的表亲泥蜂身上也存在。雌性泥蜂不仅将卵产在毛虫、蟋蟀或蜜蜂的体内，以便幼虫直接食用，而且据法布尔等人研究发现，雌蜂还会小心翼翼地将刺插入猎物中央神经系统的每一个神经节，在保证猎物存活的情况下将其麻痹，以此来保证这块肉食的新鲜。我们不知道这种麻痹作用是像医疗麻醉一样，还是像箭毒那样，只是限制了猎物的活动能力。如果是后者，那么猎物很可能会意识到，自己被泥蜂幼虫从肚子里面一口口吃掉而无能为力，根本动弹不得。这种事听起来既野蛮又残忍，但我们随后会了解到，大自然并不是残忍，只不过是无动于衷罢了。这是人类需要去领悟的难度最大的道理之一，因为我们无法承认，诸事不分好坏，没有残忍或善良，就是冷漠到底，对所有的痛苦煎熬都无动于衷，没有任何目的。

人类的大脑会为诸事赋予意义和目的，我们看到任何东西都会情不自禁地去琢磨这个东西为什么存在，其动机是什么，或其背后的目的是什么。当这种对目的和意义的执迷不悟发展到病态的地步，就成了偏执狂，这导致人们将随机出现的坏运气理解为某种歹毒的目的。但这只不过是普遍存在的谬见的一种夸张的表现形式而已，对于任何一个东西或讲述任何一件事情的发展过程，我们都会禁不住去问“为什么”“此物可作何用”。

人类终日生活在机器、艺术作品、工具和其他人工设计制品的包围中，想要为每件物品都赋予意义并不足为奇。而且只要是在脑子清醒的状态下，人们就会终日被关于自己个人目标的想法所淹没。汽车、开罐器、改锥、干草叉等物件的存在，都赋予“此物可作何用”光明正大的合理性。我们那些没有宗教信仰的祖先也会对雷电、日食、岩石和溪流问出同样的问题。如今，我们因摆脱了原始的“万物有灵

论”而自豪。如果小溪中的一块石头碰巧成为方便下脚的垫脚石，我们更倾向于将这块石头的有用之处视作无意得来的好处，而不是什么天赋使命。但当悲剧袭来时，那种古老的情绪又会卷土重来。事实上，“袭来”这个词本身就体现出了“万物有灵论”的本质：“为什么，为什么偏偏是我的孩子会患上癌症？”而当我们谈到万物的起源或基本物理定律时，同样的情绪还会冒出头来，其精华可用一个虚无的存在主义问题来概括：“为什么会有事物存在，而非空无一物？”

许多次，在公开演讲结束后，观众席中都会有人站起来，说出类似下面这样一段话：“你们科学家非常善于回答‘怎么做’这个问题，但你必须承认，在‘为什么’这个问题面前，你们无能为力。”我的同事彼得·阿特金斯博士（Dr. Peter Atkins）在温莎城堡进行演讲时，菲利普亲王也坐在观众席中，并提出过同样的问题。问题之外存在一个从未被证明合理的假设，那就是，由于科学无法回答有关“为什么”的问题，那么一定存在其他一些科学以外的规则或定律有资格来回答。事实上，这一假设毫无逻辑可言。

恐怕阿特金斯博士也没怎么理会这位提出“为什么”问题的皇家贵族。能将语言组织在一起形成一个问题，并不意味着这样做是合情合理的。有许多东西都可以让你提出下列这类问题：“此物的温度是多少？”“此物是什么颜色的？”但谈及嫉妒或祈祷，你就无法询问其温度或颜色。同样，你可以针对自行车的挡泥板或卡里巴水坝提出有关“为什么”的问题，但当面对一块岩石、一场不幸、珠穆朗玛峰或整个宇宙时，你没有权利去假定有关“为什么”的问题是值得回答的。无论提出问题的人有多么诚恳，有些问题就是不合时宜。

一边是挡风玻璃雨刮器和开罐器，另一边是岩石和宇宙，存在于两者之间的就是生物。与岩石不同，活生生的躯体及器官看起来就像是因自身的天赋使命而存在一样。众所周知，这种表面上的生存目的性充斥着神创论的经典设计论证，从阿奎那（Aquinas）到威廉·佩利（William Paley），再到现代“科学”神创论者，人们无所不用其极。

让人产生目的性设计感的强烈错觉的羽翼、眼睛、喙、筑巢本能，以及其他一切与生命有关的事物，其背后的真正发展过程如今已为人所熟知，那就是达尔文的自然选择理论。我们在这方面的认识，

是最近150年间才发生的事情。在达尔文之前，就连受过良好教育的人士也已经放弃了对岩石、溪流和日蚀提出“为什么”问题，但他们依然会接受有关生命世界“为什么”问题的合理性。而如今，只有科学文盲才会这样做。但这里潜藏着一个人们不得不去面对的现实，那就是科学文盲依然占人口的绝大多数。

实际上，达尔文主义者也会对生物提出“为什么”的问题，但他们是从某个特殊的、隐喻的角度来提问的。鸟儿为什么歌唱，翅膀又是做什么用的？现代达尔文主义者对这类问题全盘接纳，并从鸟类祖先面对的自然选择角度给出了合理答案。人们对意义的痴迷程度太深，生物学家便利用“优秀设计”的假设作为发挥作用的工具。正如我们在前一章了解到的，冯·弗里希的蜜蜂舞蹈研究有着划时代的重大意义。而在此之前，冯·弗里希力排众议，坚持认为某些昆虫拥有真彩色视觉。为此，他专门做了一些实验。而给予他动力的，就是他观察到许多通过蜜蜂授粉的花朵会不遗余力地制造出多彩的色素。如果蜜蜂是色盲，那这些花朵为什么如此色彩斑斓？意义的比喻（更准确地说是达尔文主义选择的参与）在这里被用来作为对真实世界的强有力推论。

如果冯·弗里希说“花朵是彩色的，因此蜜蜂一定有色觉”，那么他就大错特错了。但如果他说“花朵是彩色的，因此至少值得我努力做一些新实验，测试一下蜜蜂有色觉的假说”，那么这种说法就是正确的。通过蜜蜂色觉的具体实验他发现，蜜蜂的确有良好的色觉，但蜜蜂眼中的色谱和人类是不同的。蜜蜂看不见红光（可能我们所谓的红色在蜜蜂的世界里会被称作“黄外线”），但它们能看到人眼无法识别的更短波长的光线——紫外线。在蜜蜂眼中，紫外线是一种独特的颜色，这种颜色在蜜蜂的世界里可能被称为“蜜蜂紫”。

冯·弗里希发现蜜蜂能看到色谱中的紫外线时，再一次运用“意义隐喻”进行了推理——蜜蜂的紫外线感官有何用？他的思维线索转了一个圈，又回到了花朵上。虽然我们看不到紫外线，但能制作出对紫外线敏感的胶卷，也能制作出对紫外光透明，但隔离所有“可见”光的过滤器。冯·弗里希从直觉出发，对花朵拍了一些紫外线照片。可喜的是，他在照片中看到了一些人眼之前从未看到过的点状和条状图案。

人类眼中的白色或黄色花朵实际上布满了紫外线图案，这些图案在蜜蜂眼中就像跑道上的标志物，可以帮助它们找到花蜜。意义假设再一次发挥了作用：花朵如果经过精心设计，就会利用蜜蜂能看到紫外线的事实。

冯·弗里希年老后，他最著名的蜜蜂舞蹈实验被一位名叫阿德里安·温纳（Adrian Wenner）的美国生物学家所质疑。所幸，冯·弗里希长寿，见证自己的成果被另一位名叫詹姆斯·古尔德（James L. Gould）的美国生物学家再次验证。在普林斯顿大学工作的古尔德，利用生物学史上最别具匠心的实验，证明了冯·弗里希的蜜蜂舞蹈理论。我在此简单讲一讲这个故事，因为这一实验与我提出的“经过设计”的假设的论点有关。

温纳和他的同事并不否认蜜蜂舞蹈的存在，他们甚至不否认舞蹈中包含冯·弗里希提出的所有信息。他们否认的是其他蜜蜂对舞蹈的理解。温纳说，摇摆舞直线轨迹的方向与垂线的夹角的确与食物方向和太阳的夹角有关，但是其他蜜蜂并没有从舞蹈中获取到这些信息。是的，舞蹈中各种动作的速度可以被解读为关于食物距离的信息，但是没有证据证明其他蜜蜂读懂了这些信息，其他蜜蜂很可能将这些信息忽略掉了。持怀疑观点的人称，冯·弗里希的证据存在缺陷，加入适当的“控制”（即找到蜜蜂寻找食物的其他替代方法）并重复实验时，实验结果并不支持冯·弗里希的舞蹈语言假设。

古尔德便是在那时带着他经过精心设计的天才实验横空出世的。古尔德利用了关于蜜蜂的一个早就为人所熟知的事实。我们在前一章内容中也讲到过。虽然蜜蜂常常在黑暗中舞蹈，利用垂直面的上下方向，作为水平面太阳方位的代码标记，但如果在蜂巢内部点亮一盏灯，它们会毫不犹豫地转而使用那种可能更加古老的方位识别方式。它们会将重力完全抛于脑后，将灯泡视为太阳的象征，直接利用光源来调整舞蹈的角度。所幸，关于蜜蜂从利用重力调整到利用灯泡的这一过程并不存在理解上的误区。其他“读取”舞蹈的蜜蜂也会以同样的方式调整对舞蹈的理解，由此，舞蹈依然能传递同样的意义：其他蜜蜂还会朝着舞蹈所指示的方向出发去寻找食物。

现在，就让我们来看看古尔德画龙点睛的绝妙一笔。他用黑色虫

胶涂在跳舞蜜蜂的眼睛上，这样一来，跳舞蜜蜂就看不到蜂巢内点亮的灯泡。于是，在点亮灯泡之后，这只蜜蜂依然在沿用传统的重力引导方式继续跳舞。但读取舞蹈信号的其他蜜蜂并没有被蒙上眼睛，是可以看到灯泡的，它们对舞蹈的理解是假设跳舞蜜蜂放弃了重力引导，转而使用灯泡“太阳”作为引导。读取舞蹈信息的蜜蜂会对舞步与光源的夹角进行衡量，而舞蹈蜜蜂则是用舞步与重力垂线的夹角编码想要传达的关键信息的。实际上，古尔德是迫使跳舞蜜蜂对食物方向撒了个谎。舞蹈蜜蜂不是随随便便撒了个谎，而是在古尔德的精确操纵下，撒了一个关于某个特定方向的谎。当然，他在实验中采用的不只是一只被蒙住眼睛的蜜蜂，而是在各种被操纵的角度之下，具有合理统计学意义的足够多的蜜蜂样本。实验结果充分验证了冯·弗里希提出的舞蹈语言假设。

我讲这个故事不仅是因为其趣味性。我想要说明的是优秀设计假设的正反两个方面。当我第一次读到温纳和同事提出质疑意见的论文时，我还公开表明了自己的嘲讽态度。就算最后温纳被证明是错误的，我当初的做法也很不明智，因为我的嘲笑完全基于“优秀设计”假设。毕竟，温纳并没有否认舞蹈的确发生过，也没有否认冯·弗里希提出的舞蹈所包含的食物距离和方向的所有信息。温纳只不过是否认了其他蜜蜂会读懂这些信息，而这一点对于我和许多其他达尔文主义生物学家来说是完全无法容忍的。蜜蜂舞蹈如此复杂，设计得如此精心，细节如此精密细腻，表面看来，其目的和意义就是知会其他蜜蜂关于食物距离和方位的信息。

在我们看来，如此精密细腻的舞步的由来除了自然选择之外，不可能还有其他的途径。从某种角度来看，我们落入了和神创论者在思考生命奇迹时所落入的同一个陷阱。这段舞蹈一定是有其特定作用的，就是帮助蜜蜂找到食物。而且，经过微调的舞步的方方面面，包括夹角和速度与食物方位和距离的关系等，肯定是要发挥些用处的。因此，在我们看来，温纳必定是错误的。我当时是如此自信满满，就算我有足够的天分，可以构思出古尔德的蜜蜂蒙眼实验（当然我也没那么高的天分），也不愿费那个心思去脚踏实地地做实验。

古尔德不仅才思泉涌，构思出了这一实验，而且还行胜于言，将

其落到了实处，因为他没有被“优秀设计”假设所迷惑。但说句实在话，面对“优秀设计”假设这个问题就像走钢丝一样惊险。就像之前的冯·弗里希进行蜜蜂色觉研究一样，古尔德头脑中存在足够的“优秀设计”假设，才会认为他这场了不起的实验有很大的可能性取得成功，因此才愿意将大把的时间和精力投入其中。

现在我想向读者介绍两个专业术语：“逆向工程”和“效用函数”。这一部分内容主要受到了丹尼尔·丹尼特[8]的优秀著作《达尔文的危险思想》（*Darwin's Dangerous Idea*）的启发。逆向工程是一种推理技巧，其原理如下：假设你是一位工程师，你面前有一个搞不懂其工作原理的人工制品。你认定此制品的设计有其特定目的，于是你将此物拆开，带着试图搞清楚它可以用于解决什么问题的眼光对其进行分析：“如果我想要制造一台能做到某件事的机器，我会将其做成这个样子吗？或者说此物是否可以被更好地解释为设计出来用于完成某件事的机器？”

计算尺直到最近还是工程师眼中的宝贝，但放在电子时代，它就像青铜时代的遗物一样陈旧过时。未来的考古学家如果发现了计算尺，一定会思考其用途。他会想这东西用来画直线还不错，用来给面包涂黄油也不差。但如果假设其中任何一个功能就是其设计初衷，则违背了经济假设。如果只是为了画直线或涂黄油，那么中间那个可以滑动的物件，就完全没有存在的必要了。而且，如果你仔细观察格子线的间距，就会发现精确的对数尺。很明显，这里经过了精心处理，不可能是巧合。此时，考古学家便会茅塞顿开，想到在电子计算器出现之前，此物件上所呈现的规律充满奇思妙想，还可以快速进行乘法和除法运算。计算尺的秘密——运用智慧和简约设计的假设，就这样被逆向工程的思维方式所解开。

“效用函数”这个专业术语是经济学家而非工程师的专长，意思是说“最大限度”。从努力将某事物最大化的角度来说，经济规划师和社会工程师很像建筑师和真正的工程师。效用主义者会努力实现“大多数的最高幸福感”（说句题外话，这个说法听起来比实际要更富有智慧）。在这样的目标引导下，效用主义者可能会将长期稳定放在第一位，而牺牲短期幸福感。效用主义者还会对“幸福感”的衡量尺度而产

生不同意见，有人强调金钱财富，还有人强调工作满足感、文化满足感或个人关系。还有一些人公开强调以牺牲公共福利为代价来实现自身幸福感最大化，他们还声称，如果每个人都照顾好自己，那么人们普遍的幸福感就会得到最大化，并用这样的说法来给自身的利己主义镀上光环。

通过观察个体终其一生的言行，你应该能利用逆向工程的思维方式，建立起他的效用函数。如果你从逆向工程的角度来看待某国政府的行为，可能会总结发现，被最大化的是就业率和普遍福利。对于另一个国家来说，效用函数可能是总统的长久掌权，或某个特定执政家族的财富，某位苏丹国王的后宫规模，又或是中东地区的稳定或持有价格的维持。我想说的是，你能想到的效用函数不止一个。某个个体、公司或政府努力想要最大化的目标，并不总是非常明显的。但我们可以稳妥地假定，他们都在将某事最大化，因为智人是深受目的驱动的物种。就算效用函数是许多事物的加权总和或其他一些复杂函数，这一原则依然适用。

让我们回到活生生的物种中间，尝试着找找它们的效用函数。我们可能会找出多个效用函数，但发人深思的是，最终所有这些效用函数会汇聚为一个。夸张一点来描述我们的任务的话，不妨想象所有生物都是由一位拥有神力的工程师创造出来的，生物们试图通过逆向工程的方式，找出这位工程师想要最大化的东西：造物者的效用函数是什么？

猎豹身上的种种迹象都能看出其是为完成什么任务而设计的，我们应该很容易用逆向工程的方法找出猎豹的效用函数。看起来，猎豹就是被设计用来杀死羚羊的。如果说造物者设计猎豹的目的是使羚羊的死亡数量最大化，那么猎豹的牙齿、爪子、眼睛、鼻子、腿部肌肉、脊椎和大脑，都与达到这一目的的构想不差分毫。反过来，如果我们用逆向工程的思维来看待羚羊，就会发现同样有说服力的设计证据可以用于给出完全相反的目的解释：羚羊生存，猎豹饿死。这就好像猎豹是由某位神灵设计而来的，羚羊是被同样拥有神力的神灵死敌设计而来的一样。

换句话说，如果只有一位创始者，他同时创造了老虎与绵羊，猎

豹与羚羊，那么他想要达到什么目的？他是不是乐于旁观生死血战的施虐狂？他是不是想要避免非洲哺乳动物种群数量过大？他是不是想通过这些操纵，来提高戴维·阿滕伯勒（David Attenborough）的电视节目收视率？这些情理之中的效用函数都有可能被证明是正确的，当然，事实上这些都大错特错。如今，我们已经在细节上搞清楚了生命唯一的效用函数，而这个效用函数和上面的任何一个都扯不上关系。

本书第1章内容已经帮助读者了解到一种观点，即生命的真正效用函数，即在自然界中得到最大化的事物是DNA生存。但是，DNA并不是自由存在的，而是锁定在有生命的躯体之中，生杀予夺的大权也掌握在躯体手中。猎豹体内的DNA序列，通过驱使猎豹的躯体去猎杀羚羊而获得生存。羚羊体内的DNA序列，通过促使羚羊的躯体在猎豹的追捕下逃脱而获得生存。但在两个案例中，获得最大化的都是DNA的生存。在本章中，我将通过几个实用案例来说明逆向工程的作用，证明当我们假设DNA生存是得到最大化的事物时，所有一切都顺理成章。

物种的性别比在野外种群中通常是50：50。许多物种中，少数雄性霸占着大量雌性，有着庞大的后宫。在这种情况下，雌性、雄性数量均等，似乎从经济角度讲并不合理。一项针对一群象海豹的研究发现，4%的雄性象海豹占据着88%的与雌性象海豹的交配机会。这种情况下，上帝的效用函数似乎对占大多数的单身汉们极不公平。更可怕的是，若有一位主张节约成本、提高效率的神灵，他一定会发现，余下没有得到交配机会的96%的象海豹，正消耗着一半的食物资源（实际上比一半多，因为成年雄性象海豹的体型比雌性大很多）。这些多余出来的单身汉什么都不做，只是等着天上掉馅饼，希望有朝一日取代那幸运的4%的后宫所有者。如此没天理的单身汉群体的存在又如何解释呢？任何一个对群体经济效率有一点点关注的效用函数都会解决掉单身汉问题，令种群中的雄性数量刚好够令雌性怀孕。关于这种表面上的反常现象，只要我们搞清楚了真实的达尔文主义效用函数：DNA生存最大化，就能给出简洁明朗的解释。

我将对案例中的性别比问题展开来讲一讲，因为其效用函数自身又衍生出一个经济处理策略。达尔文本人也曾坦然承认曾深受这一问

题的困扰："我以前认为，当产出同样数量雌雄个体的趋势对物种来说是有优势的，这种现象就会通过自然选择体现出来。但如今我发现，整个问题十分微妙，不如暂留一旁，留到未来再看。"这一次，在达尔文所谓的未来勇敢站出来的，又是伟大的罗纳德·费希尔爵士。

费希尔提出，所有出生的个体都有一位母亲和一位父亲，因此，从后辈的角度来看，所有现存雄性的繁殖成功率，一定等于所有现存的雌性的繁殖成功率。这里并不是指每一位雄性和每一位雌性，因为很明显也很重要的一点是，有些个体的成功率比另一些要高。费希尔所讲的是雄性整体与雌性整体之间的对比。

子孙后代的总数必须在雄性个体和雌性个体之间划分开来，不是平均分，但是要分开。这块必须在所有雄性间切开的繁殖蛋糕，等于那块必须在所有雌性间切开的繁殖蛋糕，因此，假设种群中的雄性数量比雌性多，那么每位雄性分得的平均蛋糕大小，就必然小于每位雌性分得的蛋糕。由此看来，与单个雌性的平均繁殖成功率相比，单个雄性的平均繁殖成功率（即后代的期望数量）完全取决于雄雌比例。个体数量较少性别的成员，比个体数量较多性别的成员，拥有更高的繁殖成功率。只有当性别比平均，不存在某个性别个体数量较少的情况时，两性才拥有同样的繁殖成功率。这一简洁明了的结论，完全基于不动纸笔的逻辑推理，除了所有孩子都由一位父亲和一位母亲所生的基本事实之外，并不取决于任何实证经验。

通常性别在妊娠期就已经确定，因此我们可以假设，个体没有能力决定自身的性别（这里的委婉说法不是出于例行公事，而是非常必要的）。我们不妨和费希尔一同假设，父母可能拥有决定后代性别的能力。当然，这里的"能力"并不是说有意识地施加能力或蓄意运用能力。一位母亲可能具有某种遗传特质，能通过阴道分泌一种化学物质，对生成儿子的精子产生攻击性，而不会干扰生成女儿的精子。或者，一位父亲可能拥有某种遗传倾向，能制造更多生成女儿的精子，而不是生成儿子的精子。无论实际情况如何，你可以假设自己是一位想要决定生男孩还是生女孩的家长。再次强调，我们所说的不是有意识地做决定，而是对后代性别产生影响的基因的世世代代的选择。

如果你想要将孙辈的数量最大化，那么你应该生男孩还是女孩？

我们已经知道，你应该选择的后代性别是群体中占少数的性别。这样，你的孩子就可能获得相对大份额的繁殖资源，你就有可能获得较多的孙辈。如果两个性别之间并没有数量多少之分，换句话说，比例已经是50：50了，那么你就无法通过偏好其中某一性别而获益，生男生女都无所谓。利用伟大的英国进化论者约翰·梅纳德·史密斯（John Maynard Smith）的话说，50：50的性别比被称为进化的稳定点。只有在现有性别比不是50：50的情况下，你的选择才会获得回报。至于个体为什么应该试图将孙辈及其后辈的数量最大化的问题实在无须提问，因为致使个体的后代数量最大化的基因，是我们期望在这个世界上看到的基因，我们看到的动物从繁殖成功的祖先身上遗传到了这一基因。

可能有人会想用这样的方式来表达费希尔的理论：50：50是“最优”的性别比，但这种说法并不正确。孩子的最优性别选择，是当雄性处于少数时选雄性，雌性处于少数时选雌性。如果没有任何一个性别相对较少，就没有最优可言：孩子是男是女，对于父母而言完全无关紧要。之所以说50：50是进化稳定的性别比，是因为自然选择不会偏好任何偏离这一状态的倾向，如果有任何偏离这一状态的事件发生，自然选择会偏好重建平衡的倾向。

而且，费希尔还发现，保持在50：50的并非雌雄性别数量化，而是对儿子和女儿的“父母支出”。父母支出指的是所有送到某个孩子口中的来之不易的食物，所有用在照料这个孩子上的时间和精力。这些时间和精力可以被用来做别的事情，比如照顾另一个孩子。假设某个特定海豹物种照料雄性幼崽所花的时间和精力，是照料雌性幼崽的两倍。与雌性海豹相比，雄性海豹个头巨大，很容易让人相信实情就是如此（虽然事实上并不正确）。请想想看，这意味着什么？父母面临的真正选择并不是“我应该生个儿子还是女儿”，而是“我应该生一个儿子还是两个女儿”，因为利用养育一个儿子的食物和其他物品可以养育两个女儿。这样一来，通过个体数量测定的进化稳定的性别比就是2：1。但通过父母支出量来测定的进化稳定的性别比依然是50：50。费希尔的理论实现的是对两种性别支出的平衡，在许多情况下，父母支出比实际上也等同于平衡两性数量的比值。

正如我之前说过的一样，就算在海豹身上，针对儿子或女儿的父母支出也没有什么明显的差异。雌雄海豹体重上的差异是在父母支出完成之后才显现出来的。因此，父母面临的决策依然是“我应该生一个儿子还是一个女儿”。就算儿子长到成年所需的整体成本可能比女儿成长的整体成本要高很多，如果额外的成本并不由决策制定者（父母）承担，那就不会影响到费希尔理论的效力。

费希尔平衡支出的理论，在某一性别比另一性别承受更高的死亡率时同样适用。假设雄性幼崽比雌性幼崽死亡的可能性更高，如果母亲怀孕时的性别比是50：50，等到雄性成年时，其数量就会少于雌性。因此，雄性就成了数量较少的性别，而我们则会天真地期望自然选择偏好生儿子的父母。费希尔也会有同样的期望，但他的期望会止于一点，而且是一个精确的临界点。他不会期望父母能怀上更多数量的儿子，使得雄性幼崽更高的死亡率得到恰当的补偿，从而使得雌雄海豹成年后能实现性别数量的平衡。事实是，母亲怀孕时胎儿的性别比应该是多少偏向雄性的，但只会到达一点，即对儿子的总体支出期望等于对女儿的整体支出期望。

思考这一问题的最简单的方法是将你自己放在父母的位置上，然后问自己：“我应该生个存活可能性更大的女儿，还是生个可能在幼年就夭折的儿子？”选择的决策牵涉一个概率问题，那就是你可能需要多生几个儿子来代替那些早逝的儿子，并在多生的几个儿子身上投入更多的资源。你可以这样想，每一位幸存下来的儿子身上都背负着他死去兄弟的灵魂。之所以说儿子身上背着这份负担，是因为通过儿子获得孙辈的决策，让父母付出了额外浪费掉的支出，即那些被用在幼年早逝的雄性身上的支出。费希尔的基本规则依然成立，为儿子付出的物质和精力总量（包括对早逝儿子在离世之前的喂养投入）等同于养育女儿的物质和精力总量。

如果雄性幼年死亡率并不高，但在父母支出结束之后，雄性的死亡率高于雌性又会怎样呢？事实上，现实情况常常如此，因为成年雄性经常因搏斗而受伤。这种情况同样会导致有繁殖能力的种群中的雌性比例增加。因此，在这一问题面前，父母利用有繁殖能力的种群中雄性较少的事实会偏好生儿子。但是细想下去你就会意识到，这样的

推理存在谬误。父母面临的决策是这样的：“我应该生个儿子，虽然他很可能在我完成养育任务之后死于搏斗，但如果他幸存下来，就会带给我数量更多的孙辈。如果生个女儿的话，她更有可能生育平均数量的孙辈。”你期望通过儿子获得的孙辈数量，依然等同于你期望通过女儿获得的平均孙辈数量。生育儿子的成本依然是他在离家之前为其投入的喂养和照料成本。他在离家之后可能很快就会死于格斗的事实，并不会改变这个计算。

通过上述所有推理，费希尔假设“决策者”是父母。如果是别人，那么计算就会发生变化。具体来说，假设个体能影响自身的性别（这里所说的影响并非有目的、有意识的影响），那么一定存在某个基因能根据环境中的线索使个体发育转向雌性或雄性。遵从一贯的传统，出于简化的目的，我还是运用个体主动做选择的表达方式来进行说明。在这一案例中，就是个体主动选择其性别。如果像象海豹这样一夫多妻制的动物拥有了灵活选择性别的能力，其效果就会非常戏剧化。个体都会想要成为妻妾成群的雄性，但如果没能建起后宫，就宁愿成为雌性，也不愿当单身汉。如此一来，种群中的性别比就会严重偏向雌性。可惜，象海豹无法改变生来既定的性别，但有些鱼类能够做到。

雄性蓝头隆头鱼身形庞大，体表颜色鲜艳，有着一群体表颜色暗淡的妻妾。有些雌性个头比其他雌性大，它们会在此基础上形成一个统治层级体系。如果一位雄性死去，其地位会很快由体形最大的雌性所取代，而这位雌性也会很快转变成为体表颜色鲜艳的雄性。这些鱼能获得雌雄两性的优势。它们不会以雄性单身汉的身份浪费生命，坐等占统治地位的妻妾成群的雄性死去，而是用等待的时间来以雌性身份生儿育女。蓝头隆头鱼的性别比体系非常罕见，在这里，造物者的效用函数与社会经济学家所谓的审慎碰巧发生了重叠。

现在，我们已经将父母和个体本身作为决策者的情况都考虑在内了，还有谁有可能承担起决策者的职责呢？在社会性昆虫中，投资决策在很大程度上是由无生育能力的工蜂和工蚁来做出的，而通常情况下，它们都是被养育的幼虫的亲姐姐（在白蚁的案例中就是亲哥哥）。蜜蜂就是一种人们比较熟悉的社会性昆虫。如果你是养蜂人，

你可能已经意识到，蜂巢中的性别比并不遵从费希尔的期望。这其中的前提是，工蜂不应被算在雌性之中。从本质上讲，工蜂是雌性，但它们并不生育后代，因此，根据费希尔理论所说的性别比，我们应该计算的是雄蜂与蜂巢产出的新蜂后之间的比例。蜜蜂和蚂蚁的案例中存在一些特殊因素，我在《自私的基因》中讨论过，在此不做复述。期望性别比为3：1，偏好雌性。而正如养蜂人所知，实际性别比严重偏向雄性。人丁兴旺的蜂巢一季可能产出五六位新蜂后，而雄蜂的数量可能高达数百甚至上千只。

究竟发生了什么？这一次，现代进化论的大咖，就职于牛津大学的汉密尔顿为我们找到了答案。个中缘由给人以启发，集中体现了受费希尔启迪的整个性别比理论。解开蜜蜂性别比谜题的关键，就在于蜜蜂的密集现象。从许多角度来看一个蜂巢，都像是一个个体。蜂巢逐渐发育成熟，开始繁殖，然后死亡。蜂巢的繁殖产物是一个新蜂群。仲夏时节，蜂巢在最繁荣的时候会产出一个子群落，即新蜂群。对于蜂巢而言，产出新蜂群，就相当于繁殖。如果说蜂巢是一间工厂，新蜂群就是其最终产品。新蜂群还携带着种群的宝贵基因。一个蜂群往往包括一位蜂后和数百位工蜂。它们一同离开旧蜂巢，密密麻麻地聚集在一起，停留在大树枝或岩石上，这里将成为它们的临时营地。与此同时，它们还会去寻找一个固定位置建立新家。几天之内，它们会找到一个洞穴，或一棵中空的大树，又或是被养蜂人捕获，住进新蜂巢。

繁荣的蜂巢都会产出子蜂群，当然第一步就是要产出新蜂后。通常情况下，蜂巢会产出五六位新蜂后，而其中只有一位会存活下来。第一位孵化而出的新蜂后会将其余蜂后蛰死（也许多余出来的蜂后之所以存在，仅是为了保险起见）。一般情况下，蜂后与工蜂之间是可以互换角色的，但蜂后都被养育在蜂巢下面的专属蜂巢之中，只食用营养丰富、可以促进蜂后发育的特定食物。食物中含有蜂王浆，小说家芭芭拉·卡德兰（Barbara Cartland）就将自己的长寿和皇后般的仪态浪漫地归功于蜂王浆的功效。工蜂则被养育在更小的格子间里，将来，这些格子间会被用来储存蜂蜜。从遗传上来讲，雄蜂来自未受精的卵。一个卵将发育成为雄蜂还是雌蜂（蜂后／工蜂）是由蜂后来决

定的。蜂后只在刚刚成年时的一次飞行中进行交配。它会将精子储存于体内，供余生所用。随着每个卵子经过输卵管，它有可能从储备库中释放出一小部分精子，为卵子受精，也有可能不释放。因此，蜂后控制着卵的性别比。而工蜂似乎掌控着所有的权力，因为它们控制着幼虫的食物供给。举例来说，如果蜂后产下了太多的雄卵，工蜂可以选择将这些雄性幼虫饿死。在许多情况下，雌卵是长成工蜂还是蜂后由工蜂掌控，因为这一成长阶段完全取决于养育条件，尤其是食物。

现在，让我们回到性别比问题上来，看看工蜂所面临的决策。正如我们了解到的，和蜂后不同，工蜂并不是要选择产出儿子或女儿，而是要选择产出弟弟或妹妹。这样，我们又回到了之前的谜题。实际上的性别比似乎严重偏向于雄性，而从费希尔的观点出发，这一点似乎说不通。我们还需要再深入研究一下工蜂面临的决策。刚才讲过，这是一个在弟弟或妹妹之间的选择，但请稍等。实际上，养育弟弟的决策是这样的：蜂巢为其提供养育雄蜂所需的食物和其他资源。但养育新蜂后的决策需要整个蜂巢提供支持，远远不只是养育蜂后所需的资源那么简单。养育新蜂后的决定相当于做出产下一个新蜂群的承诺。而养育新蜂后的真实成本，包括它食用的少量蜂王浆和其他食物，都可以忽略不计。最大的成本是制造出数千只工蜂，当新蜂群离开蜂巢时，这数千只工蜂也随即与蜂巢告别。

几乎可以肯定，这就是性别比偏向雄性的真实解释，也是我之前提到的一个极端案例。费希尔的理论认为，对雄性和雌性的支出量必须相等，而不是以雄性和雌性个体的统计数量进行计算。对新蜂后的支出就包括对工蜂的大量支出。如果没有新蜂后的诞生，蜂巢也不会损失数量如此巨大的工蜂。这就像我们想象之中的海豹群体，其中某一性别的养育成本是另一性别的两倍，结果，该性别的数量是另一性别的一半。在蜜蜂的案例中，供养一位蜂后的成本是雄蜂的数百倍乃至上千倍，因为它同时背负着新蜂群所需的所有工蜂的成本。因此，蜂后的数量比雄蜂少数百倍乃至上千倍。这则奇闻逸事还有一段额外的小插曲：出于某种神秘的原因，新蜂群离开蜂巢时会将老蜂后带走，而非新蜂后。尽管如此，从经济学角度来看，一切都未改变。产出新蜂后的决策依然需要考虑新蜂群，因为只有蜂群才能将老蜂后护

送到新家。

回到一开始讲的妻妾成群的谜题：象海豹种群中存在大量单身汉，消耗着近一半（甚至超过一半）的食物资源，但它们从不繁殖，也不做任何其他有用的事情。很明显，种群的利益并未得到最大化，究竟发生了什么？对于这个问题，我们可以在决策者的位置上加以思考，比如，为了将孙辈数量最大化，而想要“决定”生儿子还是生女儿的母亲。抱着天真的眼光看来，母亲的决定是不平衡的：“如果生个儿子的话，它将来很可能会成为单身汉，不会为我产下孙辈。如果生个女儿的话，它将来很可能成为众妻妾之一，为我产下一定数量的孙辈。我该如何选择呢？”对这位未来母亲的恰当答复是：“如果生个儿子，它有可能妻妾成群，在这种情况下，它会给你带来比女儿多得多的孙辈。”

出于简化的目的，我们假设所有雌性都会繁育出平均数量的后代，10只雄性中有9只从不参与繁殖活动，而那唯一的一只雄性霸占了雌性资源。如果你有个女儿，你可以期待她为你产下平均数量的孙辈。如果你有个儿子，那么你就有90%的可能性没有孙辈，还有10%的可能性拥有是平均数量10倍的孙辈。通过儿子获得的孙辈平均期望数量，与通过女儿获得的孙辈平均期望数量是相同的。出于经济原因，即使在物种层面，非常需要多出来的雌性，但自然选择依然偏好50：50的性别比。费希尔的理论依然成立。

我在讲述所有这些推理过程时，都用到了个体动物的“决策”这个说法，需要强调的是，这样说仅仅是为了方便起见。真正发生的事情，是“负责”最大化孙辈数量的基因在基因池中变得更多了。整个世界充满了历经岁月洗礼而生存下来的成功基因。除了影响个体决策，从而将后代数量最大化以外，还有什么能让基因做到历经岁月而不被打倒呢？费希尔的性别比理论告诉了我们这样的最大化是如何做到的，而且这种最大化与物种或种群经济福利的最大化是非常不同的。这里存在一个效用函数，却与人类经济学思想之中的效用函数相距甚远。

对于后宫经济所造成的浪费可做如下总结：雄性没有将自身投入有用的工作之中，而是将精力浪费在彼此之间的无效争斗上。这是真

实存在的，就算我们以达尔文主义的思路来定义“有用”，用以指代繁育后代，也是一样。如果雄性能将浪费在彼此竞争上的精力转移到有用的渠道上来，物种整体都能以更少的精力和更少的食物消耗养育更多的后代。

若是一位工作效率研究专家看到象海豹的世界，一定会吃惊得目瞪口呆。同样的情形转换到人类的场景中会变成如下的样子：一个车间最多只需要10个人来干活，因为里面只有10台车床。管理层没有雇用10个工人，而是决定雇用100个人。这100个人每天都来上班，挣工资。之后，他们一整天都在为这10台车床的所有权而争斗不休。工人还是用车床制造出了一些物品，但数量并不比只有10人工作的情况下多，很可能还更少，因为这100个人整天忙着打架，车床并没有得到高效使用。工作效率专家一定会毫不迟疑地提出，90%的工人都是多余的，应该直接被炒鱿鱼。

雄性动物并不是只在身体格斗中浪费精力。在这里，“浪费”的定义是从人类经济学家或工作效率专家的角度出发给出的。许多物种中还存在比美的情况，这就让我们看到了另一个人类可以理解的效用函数，虽然这也不具备直观的经济意义。这一效用函数便是审美。表面看来，就好像造物者的效用函数有时被带到了世界小姐选美的圈子里（所幸现在早已过时），而T台两旁全是欢呼雀跃的雄性，最突出的例子就是松鸡等鸟类的求偶场。求偶场是一块区域，一般用来由雄性鸟类在雌鸟面前展示优美身姿。雌鸟会来到求偶场，观看几只雄鸟的舞蹈和展示，之后从中选一只并与其交配。利用求偶场寻找伴侣的鸟类中的雄性通常长有怪异的装饰性羽毛，还会用夸张的弯腰点头和古怪叫声来吸引眼球。当然，“怪异”这个词完全是人类主观的价值判断。很可能，求偶场中的雄松鸡一边炸着羽毛跳舞，一边发出拔软木塞一般的叫声，在同物种的雌鸟看来一点都不怪异，而这一点才是最关键的。在某些情况下，雌鸟眼中的美丽与人类眼中的美丽恰好重叠，于是就有了孔雀和天堂鸟。

夜莺的歌喉、野鸡的尾羽、萤火虫的闪光和热带珊瑚鱼的彩虹鳞片，都是审美之美极大化的体现，但其并不是为人类的愉悦所呈现出来的美，只是碰巧也被人类所欣赏罢了。如果我们也能欣赏这一盛

景，那么人类从中感到愉悦不过是其副产品而已。令雄性在雌性眼中富有吸引力的基因顺着数字之河流淌到了未来。在这些美丽的动物之中，也只有一个合理的效用函数。这一效用函数也同样可以解释象海豹的性别比，猎豹和羚羊之间那表面看来徒劳无功的奔跑竞赛，布谷鸟和虱子，眼睛、耳朵和气管，无生育能力的工蚁和拥有超级生育能力的蚁后。这一伟大而通用的效用函数在生物界的每个缝隙中被各个生命孜孜不倦地应用着，在每一个案例中，效用函数都意指与你要解释的特征相对应的DNA的生存。

孔雀拖着沉重、烦琐的大尾巴，极大地影响了它们从事有用工作的努力（就算它们想要做些有用的事，总体来看，它们也没这个心思）。雄性鸣禽花费大量的时间和精力在歌唱上，甚至危害到自身的安全也在所不惜。这样的做法肯定会给它们带来伤害，不仅是因为歌声会引来捕猎者，而且还因为歌唱会消耗能量和时间，而它们完全可以将这些时间用在补充能量上。研究鹪鹩生态学的一位学生说，他观察的一只野生雄鸟在唱歌时直接把自己唱死了。任何一个效用函数，如果能将该物种的长期福祉考虑在内，甚至是某一特定个体雄性的长期生存考虑在内，都会使该物种减少歌唱的时长，减少展示的时长，减少雄性间互相争斗的时长。但是，由于真正得到最大化的是DNA生存，关于这个除了让雄性在雌性眼中变美丽之外别无他用的DNA，没什么能阻挡其传递扩散。美丽本身并非绝对的美德，但如果某些基因的确能让雄性具有该物种雌性认为值得拥有的特质，那么这些基因无论如何都能生存下来。

森林里的树木为什么如此高大？为了长得比与其形成竞争的树木更高，一个“合理”的效用函数会让树木都变得同样矮，会让树木都得到完全等量的阳光照射，而不用在粗壮的树干和巨大的树冠上花费太多。但同样，如果所有树木都同样矮，那么自然选择就忍不住偏好那些稍微高一点的变异个体。赌注既然被抬高了，那么其他树木也不得不跟着展开竞赛。然后，这场竞赛便一发不可收拾，直到所有树木都高大得既荒唐又浪费。事实上，只有成天想着效率最大化的理性经济学规划者才会觉得这样的现象既荒唐又浪费。

只要你理解了真正的效用函数——想要使自身生存实现最大化的

基因，就能明白这一切的意义所在。我们还可以举几个司空见惯的例子。在鸡尾酒会上，你若想与人交谈，就必须扯破了喉咙高声叫喊。之所以会这样，是因为所有人都放开了嗓子高声畅聊。如果来宾们能达成协议，统一改成窃窃私语，彼此之间也能听得分毫不差，同时降低对声带的刺激，减少能量消耗。但除非有警察出来维护治安，否则这样的协议根本无法达成。总会有人自私地放大嗓音，然后一个接一个，每个人的说话声都越来越大。一个稳定的均衡状态，就是每个人都以体力的极限放开嗓子大喊，而此时的嗓音比“理性”眼光中所需的声音要大出许多。再一次，合作约束被其自身的内部不稳定性挫败。造物者的效用函数几乎从不会是为大多数谋求最大福利，而是在为私欲而产生的不协调的争斗中背叛其初衷。

人类总是有一种讨人喜欢的倾向，愿意假设福利就意味着群体福利，“有好处”就意味着对整个社会都有好处，未来的福祉能波及整个物种甚至整个生态系统。我们在对自然选择基础知识进行思考的过程中，产生了造物者的效用函数这一概念，而这一概念与上述乌托邦式的梦想大相径庭。的确，基因确实会在一些情况下通过编制有机体层面的不自私的合作，甚至是自我牺牲，来实现基因层面自私自利的最大化，但群体福利永远只是偶然发生的结果，并非主要的驱动力，这就是“自私的基因”的含义。

让我们再用一个类比，来看看造物者的效用函数的另一面。达尔文主义心理学家尼古拉斯·汉弗莱（Nicholas Humphrey）编造了一则关于亨利·福特（Henry Ford）的寓言故事。“据说”这位制造业效率的守护神曾经对美国的汽车报废场进行过一次调查，想要看看T型福特车的部件中是否有一些从不损坏、从不失灵。调查人员拿回来的报告几乎涉及所有位置的损坏：车轴、刹车片、活塞，所有的部件都可能出毛病。但他们留意到一个例外情况，报废车辆的转向轴主销都还有好几年的使用寿命。于是，福特提出，T型车的转向轴主销质量太好，超出车辆运转所需，将来应采用低规格零件生产。

如果你和我一样，可能会对转向轴主销是何物还有些茫然，但是否知道这一事实并没有关系。转向轴主销是机动车需要的某个部件，而福特的要求的确完全符合逻辑。还有一种做法，就是提高车辆所有

其他部件的质量，保持和主销同一标准。但这样一来造出的产品就不是T型车，而是劳斯莱斯了，而且也不符合这次调查的初衷。劳斯莱斯和T型车一样值得生产，但价位完全不同。问题在于，要确保整台车要么都以劳斯莱斯的规格进行制造，要么就都以T型车的规格进行制造。如果想要制造一台混合车型，某些部件是T型车的质量，某些部件是劳斯莱斯的质量，那么你在这两个档次上完全没有优势，因为只要最次的部件出了问题，整台车就会废掉，而花在还没出问题的高质量部件上的钱就浪费掉了。

福特的故事在生物界甚至比在汽车界更加适用，因为在有限的条件下，汽车部件是可以换下来的。猴子和长臂猿在树梢生活，永远要冒着摔到地上、摔断骨头的风险。假设我们对猴子尸体展开调查，计算体内每块主要骨头的骨折频率。结果表明，除了一块骨头之外，所有其他骨头都有摔碎的记录。猴子身上从未发现骨折情况的骨头是腓骨（与胫骨平行），按亨利·福特的逻辑，就要对腓骨按低水平规格进行重新设计，而这也正是自然选择所做的事情。长有低规格腓骨的突变个体，将宝贵的钙资源从腓骨上转移出来一部分，用在强化身体的其他骨头上，并实现身体每一块骨头骨折可能性相等的理想。或者，突变个体可以将节约下来的钙转移到母乳上，养育更多的后代。我们可以安全地从腓骨上转移骨质，至少可以让腓骨和坚韧性排名第二的骨头拥有同等的骨折可能性。另一种办法——“劳斯莱斯”解决方案，是将所有部件的标准都提升到腓骨水平，实现起来难度更大。

计算过程并不像叙述起来这么简单，因为有些骨头比其他骨头更加重要。我猜想，对于蜘蛛猴来说，足跟骨骨折后活下来的可能性比臂骨骨折后活下来的可能性要大。因此，我们不应该实实在在地期望自然选择会让所有骨头拥有同等的骨折可能性。但是，我们从亨利·福特的故事中学到的知识，其正确性毋庸置疑。一只动物身上有可能存在一个质量很高的部件，我们应该期望自然选择去偏好那些相应部分质量较次的个体，其质量水平应与身体其他部件的质量保持平衡。更确切地说，无论是需要提升还是降低，自然选择都会偏好质量均等，直到身体所有部件达到一个恰当的平衡状态。

当这种平衡关乎生命的两个截然不同的方面时，就很容易让人领

悟，比如雄孔雀的生存和雄孔雀在雌孔雀眼中的美丽身影。达尔文主义理论告诉我们，所有的生存不过是基因为了传播而采纳的途径。但这样的说法并不能阻止我们将身体划分为不同的组件，比如腿，主要和个体生存有关；又比如生殖系统，主要和繁殖有关；再比如鹿角，相比于腿和阴茎而言，鹿角更多地用在与个体进行搏斗上。腿和阴茎的重要性，并不取决于是否存在竞争个体。

许多昆虫在一生中都会经历几个不同的阶段，而且阶段之间有着严格的划分。毛虫将生命投入到寻找食物和成长之中，蝴蝶就像它们造访的花朵一样，将生命投入到繁殖之中。蝴蝶不会成长，之所以吸食花蜜，只不过是为了立即将其像航空燃油一样消耗掉。当蝴蝶成功繁殖时，它们不仅能将有效飞行和交配的基因传播下去，还能将毛虫阶段有效进食的基因传播下去。蜉蝣一开始是水下若虫，它们在水下进食和成长，时间长达3年。之后，它们会变成会飞的成虫，从水中出来，但仅能生存几个小时。其中许多都被鱼吃掉了，即使没有被吃掉，也会很快死亡，因为成虫无法进食，甚至连内脏都没有（亨利·福特一定爱死它们了）。它们的任务就是飞翔，直到找到配偶。在完成交配、留下基因之后，包括将幼虫在水下成功进食成长3年的基因传递完成，它们就会死去。有一类树木需要多年时间才能成长起来，之后用一天时间开满鲜花，随即凋亡。蜉蝣也是这样，成年蜉蝣就是在生命尽头和新生命开端绽放的鲜花。

幼年鲑鱼从出生地出发，沿溪流游向大海，生命中的大部分时间都在海洋中度过，在海里进食、成长。当长到成年阶段时，鲑鱼会回到出生地溪流的入海口，就这样开启一段英勇壮烈的洄游之旅。它们越过瀑布和激流，回到小时候的家园，然后产卵，周而复始。大西洋鲑鱼和太平洋鲑鱼之间有一个不同之处。大西洋鲑鱼产卵之后有可能重回大海，之后再一次重复这一循环，而太平洋鲑鱼则在产卵之后几天之内就会死去。

典型的太平洋鲑鱼就像蜉蝣一样，只不过一生中没有界线分明的幼虫和成虫阶段。游回溪流上游的行动实在太过壮烈，根本无法完成第二次。因此，自然选择偏好那些将自身所有资源和力量都投入唯一一次“大爆炸”式繁殖任务之中的个体。繁殖之后剩下的任何资源都是

浪费，就相当于报废汽车中质量超好的转向轴主销。太平洋鲑鱼已经进化到繁殖后生存期接近于零的阶段，节约下来的资源都投入到了鱼卵和雄鱼的生殖腺之中。大西洋鲑鱼则走上了另一条路。也许是因为它们洄游的距离更短，途经的山丘地势更加缓和，保留足够资源并完成第二次繁殖循环的个体，有时也能很好地完成任务。这些大西洋鲑鱼还需要付出的代价就是它们无法对产出的卵付出太多。在长寿和繁殖之间，存在一个权衡问题，不同种类的鲑鱼找到了不同的平衡点。鲑鱼生命循环中的特殊之处在于，英勇壮烈的洄游长征会造成循环的中断，两个繁殖季节之间不存在平滑的连续。若想坚持到第二个繁殖季节，就只能极大地降低第一个繁殖季节的效率。太平洋鲑鱼进化成为对第一个繁殖季节毫不含糊地全情投入，结果就是鲑鱼个体在唯一一次壮烈的产卵活动之后，毫不含糊地立即死去。

同样的权衡存在于每一个生命之中，但通常情况下没有这么轰轰烈烈。可能从某种意义上讲，人类自身的死亡也像鲑鱼那样写入了生命的程序之中，只不过没有那么直截了当、泾渭分明。毫无疑问，优生学家能够繁育出拥有超常寿命的人种。举例来说，他们可以选择繁育那些以后代为代价而将绝大多数资源投入自身的个体，他们的骨头非常强健，不容易骨折，但体内富余的钙所剩无几，无法提供母乳。如果人们以下一代为代价，坐享全部好处，那么很容易就能活得长一些。优生学家完全可以将这些好处全部投入在他们身上，以长寿为目标来做权衡。大自然则不会用这样的方式选择人类，因为从后代身上挪用资源，就会让基因无法传递到未来。

自然的效用函数从不会为了长寿本身而重视长寿，只会以繁殖后代为目的。和人类一样，有些动物在一生中会多次生育。这些动物都面临着在现有后代和未来后代之间做权衡的问题。一只将所有能量和资源投入头一胎的兔子，很可能会产下非常健康的第一窝小兔。但它却没有足够的富余资源供自己活到产下第二窝小兔的时候。负责将一部分资源储备起来的基因，会通过第二胎和第三胎产下的兔宝宝，在兔子种群中散播开来。而这种类型的基因没有在太平洋鲑鱼种群中散播开来，因为第一个繁殖季节和第二个繁殖季节之间的不连续性太过强大，无法逾越。

随着年龄增大，人类在下一年死去的可能性一开始是逐年降低的，然后达到一个平稳状态，继而进入漫长的上升期。这段死亡率的漫长上升过程中究竟会发生什么？其原则与太平洋鲑鱼是一样的，只不过平摊到了一个漫长的时间阶段，而不是表现为产卵狂欢之后迅速发生的死亡狂欢。衰老的进化规律最初是由诺贝尔奖获得者、医学科学家彼得·梅达沃爵士（Sir Peter Medawar）于20世纪50年代早期研究得出的。后来，著名达尔文主义科学家威廉斯和汉密尔顿在梅达沃的基础之上又进行了一些修改和补充。

其核心思想如下：第一，正如我们在第1章中了解到的，在有机体的一生中，任何一个遗传效应都可能在某个特定时间被正常开启。许多基因在胚胎早期就被打开了，但还有一些基因，比如亨廷顿舞蹈症的基因，直至中年才会被开启。第二，某一遗传效应的细节，包括其开启时间，可能受到其他基因的左右。拥有亨廷顿舞蹈症基因的人可能会死于该疾病，但他因此病死于40岁还是55岁，可能会因其他基因而改变。由此可见，通过“修饰”基因的选择，某一特定基因的开启时间可能会被推迟，也可能会被提前。

像导致亨廷顿舞蹈症这样的基因，在35～55岁之间被开启，有很大的机会在杀死携带者之前传递到下一代。但是，如果在20岁时就被开启，那么这类基因就会通过年纪轻轻就生儿育女的人们来传播，很难得到选择。如果是在10岁时就被开启的致病基因，那么基本上就没有传播下去的可能性了。自然选择会偏好任何能将亨廷顿舞蹈症基因开启时间向后延迟的修饰基因。根据梅达沃-威廉斯理论，这可能就是亨廷顿舞蹈症基因直到中年才会被开启的原因。曾经，这一基因也很可能是早熟的，但自然选择发挥作用，偏好将其致死效应推迟到个体的中年阶段。毫无疑问，如今依然存在些微的选择压力将其开启年龄继续往老年方向推迟。但这一压力较为轻微，因为很少有人会在生儿育女、传递基因之前死去。

亨廷顿舞蹈症基因是致死基因的一个特别明确的案例。还有许多基因本身不会致死，却会提升个体因其他原因而死亡的概率，被称作亚致死基因。同样，这些基因被开启的时间也可能受到修饰基因的影响，因此在自然选择的作用下被推迟或提前。梅达沃发现，老年阶段

的衰弱可能代表着致死和亚致死遗传效应的累积。在生命循环过程中，这些遗传效应被推迟得越来越靠后，被允许穿越繁殖大网，传播到未来世代，而原因仅在于这些效应起作用的时间较晚。

现代美国达尔文主义老前辈威廉斯于1957年为上述理论补充的内容非常重要。说到这里就又回到了我们之前讲过的经济权衡问题。为了深化理解，我们需要了解几个额外的背景知识点。一个基因通常拥有不止一种效应，通常能影响到不同的身体部位。这种“基因多效性”（pleiotropy）不仅是一个事实，而且完全符合期望（假定基因在胚胎发育过程中起作用，而基因发育是个非常复杂的过程）。因此，任何一个新的突变很可能拥有不止一种效应，而是多种效应。虽然其中一个效应可能是有益的，但不太可能存在多于一种的有益效应，因为绝大多数突变效应都是不好的。除了作为事实之外，这种情况在理论上也符合期望：如果你设计了一套非常复杂的工作机制，比如一台收音机，那么将这套机制搞得很差，比将这套机制提升到更加理想的状态的方法多得多。

无论何时，某个基因因为在个体年轻时产生有益效应而得到自然选择的偏好，比如年轻雄性的性吸引力，这个基因都可能存在负面影响，比如诱发中老年阶段的某种特定疾病。从理论上讲，年龄效应也可以颠倒过来，但是按照梅达沃的逻辑来看，自然选择很难因为同一基因在老年阶段能带来益处，在年轻阶段都会导致疾病发作的基因产生偏好。而且，我们可以再次借助修饰基因的论点。基因带来的多个效应中的每一个，包括其积极效应和消极效应在内，都可能在随后的进化过程中改变开启时间点。根据梅达沃原则，积极效应倾向于被前移到生命的早期，而消极效应倾向于被推迟到生命后期。

在某些情况下，早期和后期效应之间存在直接的权衡关系。这一点在我们关于鲑鱼的讨论中就已有所体现。如果一只动物拥有限量的资源，可用于强健体魄，逃离危险，那么自然选择会偏好将这些资源早早用掉，而不是留作后来使用。若留到日后，这只动物更有可能在有机会使用这些资源之前，就因为其他原因而死亡。将我们在第1章中讲过的内容颠倒过来，再联系梅达沃的观点就是，每一位个体都继承自一条从未间断过的祖先之路，所有这些祖先的一生中都经历过年

轻阶段，但许多祖先没有经历过年老阶段。因此，我们遗传了无论如何都能让我们生存到年轻阶段的基因，却并不一定拥有无论如何都能让我们活到年老阶段的基因。我们倾向于遗传那些能让我们在出生之后生存很长时间再离世的基因，但不会遗传那些让我们出生后不久就死去的基因。

回到本章略带悲观色彩的起始部分，当效用函数（得到最大化的事物）是DNA的生存时，就注定生命并非以幸福为宗旨。只要DNA能继承下去，没有人关心在这个过程中有谁会受到伤害。对于达尔文的姬蜂来说，捕获的毛虫最好是活的，在幼虫食用时最好是新鲜的，而不在意毛虫在被吃掉的过程中到底有多痛苦。基因不在乎痛苦，因为它毫无顾忌。

如果自然是仁慈的，那么它至少能做出些许的让步，比如在毛虫被姬蜂幼虫从肚子里吃掉的时候，给毛虫一剂麻醉。但是，自然并不仁慈，也并不冷酷。自然并不抵制痛苦，也不欢迎痛苦。自然对众生的痛苦毫无兴趣，除非痛苦会影响到DNA的生存。我们很容易想象出一个基因，可以在羚羊即将遭受猎豹致命一击的时候，将羚羊的感官麻痹掉。这样的基因会得到自然选择的偏好吗？不会的，除非麻痹羚羊感官的行为可以提升基因被传递到未来世代的机会。这种可能性微乎其微，我们也因此能猜测到羚羊在逃离死亡的过程中所经受的难以名状的痛苦和恐惧。自然界中年均发生的痛苦总量，远远超越了人类的想象。就在我写下这句话的同时，数以千计的动物正在被生吞活剥，数以千计的动物正在为了活命，心怀难以抑制的恐惧逃命，数以千计的动物正在被蠕动的寄生虫从身体内部缓慢掏空，数以千计的动物正在因饥饿、口渴和疾病而命悬一线。肯定如此。如果时间资源充裕，赤裸裸的现实就会自动导致种群规模壮大，直到一切恢复到饥饿和痛苦的自然状态。

神学家总是纠结于“罪恶的问题”以及与之相关的“痛苦的问题”。在我写下这一段落的当天，英国各大报刊均登载了一则令人痛心的新闻。一所罗马天主教学校的校车在满载孩子的情况下，不知为何发生了严重车祸，死伤众多。在赤裸裸的现实面前，神职人员们再一次被一个神学问题所困扰，引用一份伦敦报纸（《星期日电讯报》）上的

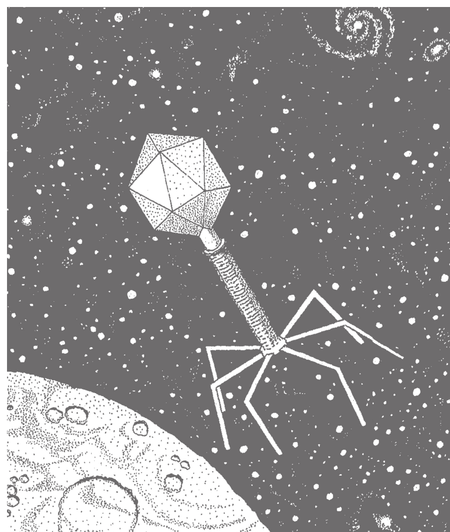
一位作家的话说，就是：“你怎么能相信，充满爱意的全能神会允许这样的悲剧发生？”这篇文章随后还引述了一位神父的回复：“简单说来，就是我们不知道为什么会有一个允许如此可怕的事情发生的神存在。但对于一位基督教徒来说，车祸的可怕也更加肯定了我们生活在充满真正价值的世界之中的事实，这些价值既有正面的，也有负面的。如果宇宙中只有电子，就不会存在邪恶和痛苦的问题了。”

恰恰相反，如果宇宙中仅有电子和自私的基因，那么像校车出车祸这样毫无意义的悲剧，正是我们应该期望发生的事情，与之相伴的还有同样毫无意义的好运。这样一个宇宙，其初衷既不邪恶，也不美好。这样的宇宙不具备任何类型的初衷。在充满盲目物理作用力和遗传复制的宇宙中，注定有些人会受到伤害，有些人会走好运，你无法从中找到规律或原因，更没有公平可言。我们所观察到的这个宇宙，仅拥有我们期望的特质，那就是毫无设计、毫无目的、毫无邪恶、毫无美好，只有盲目而无情的冷漠。正如那位不幸的诗人豪斯曼（A.E.Housman）所言：

因为自然，那没心没肺、无情无智的自然，

并不知晓，更不在意。

DNA并不知晓，更不在意。DNA就是这样存在着，我们的舞步，要合着它的节拍。



RIVER
OUT
OF EDEN

A Darwinian View of Life

05
复制炸弹





绝大多数恒星，包括太阳在内，都会以稳定状态燃烧几十亿年。在极少见的情况下，银河之中的某处会有一颗星在预先没有明显迹象的情况下突然爆发，形成超新星。在几周时间内，这颗星的亮度暴增数十亿倍，随即消逝，转变为晦暗残余。在处于超新星状态的几天中，这颗星释放的能量超过了之前处于普通恒星状态时亿万年来持续释放的能量总和。如果太阳哪一天变成了超新星，那么整个太阳系就会瞬间蒸发殆尽。所幸，这样的事情发生的可能性微乎其微。在银河系的一万亿颗恒星中，天文学家仅记录过3颗超新星，分别发生在1054年、1572年和1604年。蟹状星云是天文学家所记录的“1054年”事件的残余。我说的“1054年”事件，意思是超新星光线的波阵面传至地球的年份是1054年。事件本身的发生时间比1054年要早6 000年。自1604年以来，人类观测到的超新星都发生在其他星系之中。

恒星还会发生另外一种类型的爆炸，即变成信息。这种爆炸比超新星要缓慢，也需要更为漫长的时间酝酿。我们可以称之为信息炸弹，或复制炸弹（个中原因随后将揭晓）。在复制炸弹逐渐形成的最初的数十亿年间，只有在这颗恒星附近才能发现其变化。最终，关于爆炸的隐约迹象开始泄露到太空中更加遥远的区域，可能可以从远距离发现。我们不知道这种类型的爆炸会以怎样的方式宣告终结，也许其最终会像超新星一样消逝，我们不了解的是爆炸前这颗恒星会酝酿到何种状态。也许会酝酿成一场暴力的自我毁灭灾难。也许会酝酿成为更加温和的、物质的重复释放。这些释放出来的物体以既定的轨迹，而非简单的弹道轨迹远离恒星，进入太空之中的远方，也许还会影响其他星系，令其拥有同样的爆炸趋势。

我们之所以对宇宙中的复制炸弹知之甚少，是因为我们仅见到过一个案例。任何现象的单一案例，都不足以让我们形成一般化的理论。我们所知的唯一案例，目前仍在发展过程中。这颗星刚刚形成30亿～40亿年，刚刚到达在其附近释放爆炸迹象的节点。这颗星的拉丁名为Sol，是位于银河系边缘一条螺旋臂之中的黄矮星，我们称其为太阳。这场爆炸实际上源于近日轨道上的一颗卫星，驱动这场爆炸的全部能量都来自太阳。当然，这颗卫星就是地球。这场持续40亿年的爆炸，或称复制炸弹，就是生命。人类是复制炸弹的一个极为重要的表

现形式，因为这场爆炸是通过我们，通过我们的大脑、符号性文化和技术进入下一阶段的，并在浩渺的太空中不断发出回响。

人类的复制炸弹，是迄今为止我们所知的宇宙中的唯一一颗，但这并不一定意味着这类事件的发生概率比超新星更低。诚然，我们已经在银河系中发现过3次超新星，但由于超新星会释放大量能量，因此很容易从远距离被发现。几十年之前，当人造无线电波开始释放到行星之外时，地球上的生命爆炸才可以被距离很近的观察者所发现。也许，直到最近，地球生命爆炸最明显的表现形式一直是大堡礁。

超新星是巨大的、突然的爆炸。任何爆炸的引爆事件，都意味着一定量的物质超越了临界值，自此之后，事件便升级到无法控制的状态，并产出一个比最初引爆事件壮观得多的结果。复制炸弹的引爆事件，是各类实体同时产生的自我拷贝。自我拷贝可能引发爆炸现象的原因是指数级增长。拥有的越多，增长得越快。理论上来讲，只要你有了一个可以自我复制的物体，很快就会拥有两个。随后，两个之中的每一个都制造出了自己的拷贝，这样你便有了4个，随后是8个，16个，32个，64个……仅需30代这样的复制，你就有了超过10亿个复制品。50代之后，你就有了1 000亿个复制品。经过200代，你就有了超过10^{60} 个复制物体。实际上，如此巨量的物体很难同时存在，因为这一数字比宇宙中原子的数量还要多。自我复制的爆炸过程远在无拘无束地发展200代之前就会受到限制。

关于这颗星球复制事件发展过程的启动节点，我们目前还没有掌握直接证据。我们只能推测，一定发生了某件事，因为我们也参与到了这场累积的爆炸之中。我们无法确切地得知最初的临界事件究竟是什么，不知道自我复制的启动是怎样的，但我们能推断出这个事件的类型，其开端是一场化学事件。

化学，是所有恒星和所有行星上不断上演的剧目，其中的演员是原子和分子。若从我们习惯的计数标准来看，就连最为罕见的原子都是无比巨大的。艾萨克·阿西莫夫（Isaac Asimov）计算得出，在整个南北美洲，深入地下16千米的深度，稀有元素砹-215的原子数量“只有1万亿个”。化学基本元素永远在不停地更换合作伙伴，制造出体积更大的个体——分子。分子总量在不断波动，但规模始终保持在非常

可观的状态。某一特定类型的分子，无论数量有多少，都会永远保持一致，这一点和给定物种中的各种动物或斯特拉迪瓦里小提琴有所不同。化学所引发的原子运动，使得世界上某些分子的数量越来越多，而另一些则越来越少。生物学家自然而然地想要将数量越来越多的分子称为“成功”分子，但接受这样的观点对我们毫无助益。从字面意义上讲，成功是只有在我们这个故事后来的发展过程中才有所体现的一种特质。

那么，开启生命爆炸的重大临界事件究竟是怎样的？我之前说过，这是自我复制实体的兴起，但同样，我们也能称之为遗传现象的起源，而遗传也可以理解为同类生同类。这并不是分子在通常情况下展示出来的特质，水分子虽然产生于庞大的群体之中，却并不表现出接近真实遗传性的特质。表面看来，你可能会认为水分子也会遗传。当氢（H）和氧（O）结合时，水分子（H_2O）群体就会增长。当水分子通过电解作用分解为氢和氧时，水分子群体的规模就会缩小。虽然水分子存在某种类型的群体动态，但并没有遗传现象发生。真正的遗传需要至少两种不同类型的H_2O分子存在，两者都生成（产出）自身的拷贝。

有时，分子会形成两个镜像变种。葡萄糖分子存在两种类型，两类均包含以相同方式聚集为一体的原子，只不过两类分子互呈镜像。其他糖分子也存在同样的情况，还有许多其他类型的分子也是如此，包括重要性极高的氨基酸在内。也许，这里就有了化学遗传“同类生同类”的机会。右旋分子是否能产出子代的右旋分子，而左旋分子又能否产出子代的左旋分子呢？我们先来讲讲有关镜像分子的一些背景知识。镜像分子首先由伟大的19世纪法国科学家路易斯·巴斯德（Louis Pasteur）发现。他当时在观察酒石酸盐晶体这种红酒中非常重要的物质，晶体是固体结构，体积大到可用肉眼直接观察。人们也会用某些晶体作为装饰物，做成项链。当同一种类的原子或分子一个一个累积起来形成固体，就产生了所谓的晶体。这些原子或分子不会杂乱无章地堆于一处，而是呈现出有序的几何构造，就像同样身高的卫兵整齐划一地进行训练。已经属于晶体的一部分的分子会形成一个模板，供额外增加的新分子借用。这些新分子从溶液中析出，与晶体

完美结合，由此，整块晶体就能以精准的几何框架结构不断增长。这就是为什么食盐的晶体是正六面体，而钻石晶体是四面体。当任何一个形状能作为模板，以供形成一个与自身相同的拷贝，我们就从中看到了自我复制可能存在的迹象。

巴斯德发现，当他将酒石酸盐溶于水中时，会出现两种不同类型的晶体。这两种晶体完全相同，只不过互呈镜像。他不厌其烦地将两种类型的晶体分成两堆，当他分别将两堆晶体再次溶于水时，结果得到了两种不同类型的酒石酸盐溶液。虽然这两种溶液从绝大多数角度来看都非常相似，但巴斯德发现，它们会令偏振光向相反的方向旋转。正是因为这种使偏振光向逆时针和顺时针方向旋转的现象，两种类型的分子才有了左旋与右旋之名。你可能已经猜到，当两种溶液在此析出晶体时，每一种都能生成纯晶体，并与另一种互为镜像。

从这一点来看，镜像分子的确与众不同，就像左脚的鞋子和右脚的鞋子一样，不管你怎么做，都没办法将两者颠倒过来，让彼此作为对方的替代品。巴斯德最开始得到的溶液是两种类型分子的混合溶液，在析出晶体的过程中，两种类型的分子都会与同类分子结合。若想获得真遗传性，必要条件就是同一实体中存在两种或更多彼此相异的种类。晶体若要获得真遗传性，那么左旋晶体和右旋晶体就要在达到一个临界体积时分别分裂成两块，而每一半又成为生长的模板，长到临界体积的大小。在这种情况下，我们就会拥有不断增长的两种不同类型的、互相竞争的晶体群体。此时，我们真的可以说群体取得了“成功”。由于两种类型都在竞争同样的原子成分，其中一种类型可能因为“善于”自我复制而牺牲另一种类型，数量增多。遗憾的是，绝大多数已知分子并不具备这种非凡的遗传能力。

之所以说“遗憾”，是因为从医学角度出发的化学家想要制造出更多的左旋分子，他们希望能获得“繁殖”这些分子的能力。但是，当分子提供模板以供其他分子形成晶体时，只会为其镜像分子服务，而不是左旋分子利用左旋模板，右旋分子利用右旋模板。这就让事情变得很复杂，因为如果你从左旋分子开始，就会得到含有同样多左旋分子和右旋分子的混合物。这一领域的化学家一直在试图引导分子“繁育”出同一类型的子代分子，这是个颇为艰巨的任务。

实际上，早在40亿年前，当这个世界还是崭新的，在转化为生命和信息的爆炸开始之时，这一任务就自然自发地实现了。但爆炸正式形成之前，需要的不仅仅是简单的遗传性。就算一个分子的确能表现出左旋和右旋形式的真遗传性，两者之间的竞争也不会产生多么神奇的结果，因为最终也只有这两种形式存在。假设左旋分子占了上风，引发了这场竞争，事情也不过如此，不会再有新的进展。

体积更大的分子能在分子的不同部分表现出左旋或右旋倾向。举例来说，抗生素莫能菌素有17处非对称中心，其中每一处都存在一个左旋构型和右旋构型。2^{17} 是131 072，因此我们可以说存在131 072种不同的分子形式。如果这131 072种分子形式都具有真遗传性的特征，每一种都只培养同类型的分子，那么这场竞争就会非常复杂，而所有131 072种分子构型中的佼佼者，就会逐渐在后续的群体统计中显露出自身的地位。但是即使是这样，其遗传性也非常有限，因为131072虽然是个很大的数字，但也是有限的。生命爆炸之所以配得上这个称呼，是因为在遗传性存在的同时，还要拥有无限的、可扩充的变化。

在镜像遗传这个问题上，讲到莫能菌素，就基本讲到头了，但左旋与右旋并不是唯一一种能自行发展出遗传复制的差异。麻省理工学院的朱利叶斯·雷贝克（Julius Rebek）和同事对自我复制分子进行了认真研究。他们研究的变体并非镜像。雷贝克和同事利用了两种小型分子，我们姑且称之为A和B。A和B溶于水就会发生反应，形成第三种化合物，你可能已经猜到了它的名字——C。每一个C分子都发挥了模板作用。溶液中自由漂浮的A和B会主动将自己填入模板之中。一个A和一个B挤进模板中对应的位置，就正确无误地形成了一个新的C分子，和之前的那个一模一样。C分子不会聚于一处形成晶体，而是彼此分离。现在，两个C分子都可以作为模板，供新C分子使用，于是C分子群体的规模也展开了指数级增长。

说到这里，整套体系还没有表现出真遗传性，但后面发生的事非常有意思。B分子存在多种形式，每一种都能与A结合，形成不同版本的C分子。如此一来，我们就有了各类C分子，比如C1、C2、C3等。每一个C分子的不同版本都能作为模板，形成自己这一类型的C。C分

子群体的成分相当混杂，而且不同类型的C分子在生成子代这件事上，效率并不一致。因此，C分子群体中形成竞争关系的不同版本的C分子之间，一直处于你争我夺的状态。更有意思的是，紫外线会引发C分子的“自发突变”。新的突变类型被证明是“纯育的”，即能产生与自己完全一致的子代分子。令人感到满意的是，新的变种超越了母类分子，很快占领了整个试管。A、B、C并非唯一一组表现出此类行为的分子，还有D、E、F等。雷贝克团队甚至还在A、B、C和D、E、F中制造出了自我复制的混合体。

在自然界中，我们所知的可以自我复制的分子——DNA和RNA核酸，总体看来拥有更加丰富的变化潜力。雷贝克的复制分子是只有两节的短链，而DNA分子则是一条长度不固定的长链。链上数百节中的每一节都可以是4种类型中的任意一种。当某一段DNA成为新DNA分子装配的模板时，4种类型中的每一种都发挥了模板作用，供另一种特定类型使用。这些单位被称作碱基，分别是腺嘌呤（Adenine）、胸腺嘧啶（Thymine）、胞嘧啶（Cytosine）和鸟嘌呤（Guanine）4种化合物。通常我们将其简称为A、T、C、G。A始终作为T的模板，反之亦然；G始终作为C的模板，反之亦然。A、T、C、G之间的任意排列组合都可能存在，也会一丝不苟地得到复制。而且，由于DNA链长度不固定，变化的范围实际上是无限的。这就酝酿了一场潜在的信息爆炸，其反响最终可能从母星散发而出，触及其他星球。

太阳系的复制爆炸，自从40亿年前发生以来，其反响几乎始终局限在母星之内。只有最近100万年间，才诞生了一个有能力发明无线电技术的神经系统。直至最近几十年，这个神经系统才真正开发出了无线电技术。如今，充满丰富信息的无线电波正迅速扩张，以光速冲出地球。

之所以说充满丰富信息，是因为宇宙中已经存在许多四处弹射的无线电波了。恒星在发出我们所知的可见光的同时，也在释放无线电频率。打开时间和宇宙之窗的大爆炸还残留了一些背景噪音，但这些信号都不存在有意义的规律，即并非充满丰富信息。半人马座比邻星（Proxima Centauri）一颗行星上的无线电天文学家，也能和人类的无线电天文学家一样监测到同样的背景噪音，但与此同时，他们还能

注意到一股带着更为复杂的规律的无线电波，从索尔星[9]的方向传来。这种无线电波不会被接收解码为4岁儿童的电视节目，但能够被识别为比常见的背景噪音更有规律、信息更丰富。半人马座比邻星无线电天文学家会欢欣雀跃地报告称，索尔星发生了一场与超新星相仿的信息爆炸。他们会猜测这场爆炸实际上发生在围绕索尔星旋转的一颗行星之上，但无法确定。

我们已经了解到，复制炸弹的发展过程比超新星要漫长。人类这颗复制炸弹用了几十亿年的时间，才达到无线电这一临界点，也就是信息中的一部分从母星溢出，开始带着富有意义的脉冲，浸染到邻近的其他星系的时刻。如果人类的信息爆炸是典型情况，那么我们可以据此猜测，信息爆炸都会经过一系列分级式的临界点：无线电临界点，以及发生在其之前的语言临界点。语言的出现也是在复制炸弹酝酿过程的极后期。语言之前，是神经细胞临界点（至少在这颗星球上是如此），神经细胞之前是多细胞临界点。而一号临界点，也是所有临界点的老祖宗，是复制因子临界点——令整场爆炸成为可能的触发事件。

复制因子临界点的重要性在哪里？一个分子能作为另一个分子合成过程的模板，这样一个看起来平淡无奇的特质，怎么会成为一场爆炸的触发事件，而这场爆炸的终极回响甚至有可能穿透到星球之外？我们了解到，复制因子之所以强大的部分原因在于指数级增长。复制因子以一种特别清晰的形式表现出指数级增长。一个简单的例子，就是所谓的“连锁信”。你从邮递员那里收到一张明信片，上面写着：“照此明信片抄写6张，在一周内发给6位朋友。如果不照做，厄运就会向你袭来，你会在一个月内痛苦地死去。”如果你还有点理智，就会对此不屑一顾。但大多数人都无理智可言，他们会因此产生好奇心，或被这段威胁吓唬住，于是将6份同样的明信片给其他人发了出去。平均来看，如果收到此卡片的1/3的人遵从上面的指令，那么卡片数量每周会翻一倍。从理论上来看，一年之后的卡片数量将是2^{52}张，相当于4 000万亿。这么多的明信片，足以淹没世界上的每一个人。

如果不受资源所限，那么指数级增长会在极短时间内发展到令人瞠目结舌的规模。事实上，资源是有限的，其他一些因素也会发挥限

制作用，将指数级增长控制在一个范围之内。在我们假想的案例中，当一个人再次收到同样的连锁信时，他很可能会开始犹豫，不再转发。在对资源的竞争过程中，发展起来的复制因子的变体可能在自我复制方面更加高效。这些更为高效的复制因子会倾向于取代更逊一些的竞争对手。很重要的一点就是，所有这些不断复制的实体，都不是有意识地想要进行自我复制的。但是，碰巧这世界上就充满了更为高效的复制因子。

在连锁信的案例中，高效的含义可能包括更加字斟句酌的写作手法。信中可能不会直截了当地说“如果你不遵守明信片上的指示，一个月内就会痛苦死去”，而是改成“拜托，求求你拯救你我的灵魂，不要冒险。如果你有半点迟疑，就请遵照指示，将同样的明信片寄给另外6个人”。这样的“突变”可能发生很多次，最终的结果就是流传在外的内容变得五花八门，而所有都来源于同一位最初的祖先，但在具体的措辞、语气和讨好方式上又各有不同。更为成功的变体将以不那么成功的对手为代价，增加出现的频率。成功在这里就是传播频率的同义词。“圣犹达之信”是这方面的一个广为人知的案例。这封信在世界上流传了好几次，过程中逐渐发展壮大。在我撰写此书时，佛蒙特大学并在此的奥利弗·古迪纳夫博士（Dr.Oliver Goodenough）将下面这段文字发给了我。我们就此话题在《自然》杂志上发表了一篇联名论文《思想的病毒》：

爱让一切成为可能

> 这封信将给你带来好运，它的原始版本发自新英格兰，这封信已经在世界各地流传了9次。现在，好运被发送到了你手上。收到此信的4天之内，你只要转发信件，就能收获好运。这并不是开玩笑，你会从信中收获好运，但不要随信送钱。将此信的拷贝件发送给你认为需要好运的人们。之所以不要送钱，是因为信仰无价。不要将此信留在手中，要在96小时之内寄出去。一位名叫乔·艾利亚特的A. R. P官员收到了4 000万美元。吉奥·韦尔奇在收到此信5天后永远地失去了妻子，因为他没有将此信转发出去。但在妻子去世前，他收到了75 000美元。请将此信的拷贝件

转发出去，看看4天之后会发生什么。这封连锁信来自委内瑞拉，由南美洲一位名叫索尔·安东尼·德格纳斯的传教士所写。你必须抄写20份，将其发送给朋友和同事。几天之后，你将收获一份惊喜。就算你不迷信，也要相信爱。堪通奈尔·迪亚斯于1903年收到此信。他请秘书抄写并发送了出去。几天之后，他中了彩票，获得2 000万美元的奖金。卡尔·多比特是一位办公室职员，他收到此信后忘记要在96小时之内将信转发出去，结果他失业了。后来，他又将信找了出来，抄写并邮寄出20份。几天之后，他找到了一份更加理想的工作。多兰·菲尔切尔德收到这封信，不相信上面的内容，将信扔掉了。9天之后，他去世了。1987年，加州一位年轻女性收到了这封信。信纸已经非常残破，上面的字迹模糊不清。她想，一定要将信上内容重新写出来，接着寄出去，但是她后来忘记了。她当时遇到了许多棘手的麻烦，车子还出了问题，修理费十分高昂。这都是因为她没有96小时之内将信寄出去。最后，她还是按照当初的想法将信重写了一遍，并换了一辆新车。请记住，不要寄钱。不要对此信置之不理，因为真的会应验。

圣犹达

这份可笑的文件中带有很多明显的迹象，一看就是历经过多次“突变”变成了如今的样子。里面有好几处错误，还有一些部分用词不当，我们还知道，除了这封信之外，流传在外的还有好几个版本。自从我们的论文在《自然》杂志发表之后，世界各地的读者纷纷给我寄来了几个内容迥异的版本。在其中一个版本的明信片上，A. R. P官员变成了R. A. F官员。美国邮政局对“圣犹达之信”再熟悉不过。据美国邮政局称，这封信的起源在有邮政局正式记录之前就存在了，还会表现出反复的周期性大规模流行。

事实上，所谓的遵从者的好运和拒绝者的灾难，不可能是受益者或受害者本人写到信里去的。按照文字中的逻辑，受益者的好运只有在信件寄出去之后才会降临到当事人身上，而受害者则没有将信寄出去。由此可见，信中的故事纯属杜撰。不用说，人们也能从可信度极

低的内容中猜测出来。连锁信和开启生命爆炸的自然复制因子之间存在着重要的区别。连锁信最初是由人类发出的，其中所有措辞的改变都源自人脑。生命爆炸的开端并没有思想、创造力或意图的存在，只有化学。尽管如此，但只要拥有自我复制能力的化学物质碰巧发展起来，就会存在一种自动倾向，以不那么成功的变种为代价，换取更为成功的变种在群体中的出现频率不断提升。

就像连锁信案例中的情况一样，化学复制因子的成功等同于信件的流转频率。但这只是定义，几乎相当于同义反复的车轱辘话。成功是通过实际竞争力赢来的，而竞争力则是实打实的，远非车轱辘话。获得成功的复制因子分子往往拥有强健的复制潜力。就算复制分子本身的特性看起来出乎意料地一致，在实际的复制过程中也会表现出千差万别的变化。

DNA分子是一致的，完全由4个“字母”——A、T、C、G排列组合而来。相比之下，DNA序列进行自我复制的方法可谓花样繁多，令人眼花缭乱。包括河马的更为高效的心脏，跳蚤的更富弹跳性的腿，雨燕更符合空气动力学的流线型翅膀，鱼类的更具浮力的鱼鳔，动物的所有器官和四肢，植物的根、叶和花朵，所有的眼睛、大脑和思想，就连恐惧和希望，都是成功DNA序列所利用的工具。借助这些工具，DNA大踏步地走向未来。工具本身有着几乎无限的可变性，相比之下，打造出这些工具的秘诀，则出奇得一致，不过是一个接着一个排列的A、T、C、G。

事情不一定从一开始就是如此。我们没有证据认为，在信息爆炸开始时，种子的密码是以DNA字母的形式写成的。事实上，以DNA或蛋白质为基础的信息技术非常复杂高深，被化学家格莱汉姆·凯恩斯 - 史密斯（Graham　Cairns-Smith）称作高科技。在没有其他类型的自我复制系统作为先驱的情况下，此类事物很难单凭运气就横空出世。其先驱可能是RNA，可能是雷贝克的简单的自我复制分子，也可能是某些与众不同的东西：我在《盲眼钟表匠》中曾具体讨论过一个颇为撩人的可能性，也就是凯恩斯 - 史密斯本人提出的假设——无机黏土晶体担当了原始复制因子的职责。我们也许永远也无法确切地了解这一问题的答案了。

我们能做的，就是去猜测宇宙中任何一颗星球上生命爆炸的普通发展历程。怎样的情况下能酝酿出生命，必须要看当时当地的具体条件。在充满冷却液氨的世界中，DNA或蛋白质系统无法发挥作用，但也许有某种遗传和胚胎系统可以在其中发展。无论怎样，这类细节问题我不想过多讨论，因为我想要专注于独立于具体星球条件之外的通用原则。现在，我将更加系统地厘清任何一个行星上的复制炸弹都会经历的临界点列表。其中一些很可能具备真实的普遍性，另一些可能是地球上的专属现象。决定哪些可能是普遍性的，哪些可能是有局限性的，并不容易做到，这一问题本身就非常有意思。

一号临界点非复制因子莫属。某种拥有基本遗传变化形式的自我复制系统逐渐兴起，偶尔在复制过程中发生随机错误。穿越一号临界点的结果，就是星球上出现了一个混杂群体，其中的各个变种因资源而产生竞争。资源是稀缺的，或是在竞争日渐激烈后变得稀缺，有些变种的复制体会在对稀缺资源的竞争中变得相对成功，其他一些则没有那么成功。于是，我们现在就有了一个自然选择的基本形式。

在处于竞争关系中的各个复制因子中，成功与否完全由复制因子本身的直接特质来决定，比如其自身形状嵌入模板的吻合度。但现在，经过数代进化，我们来到了二号临界点——表现型临界点。复制因子的存活不仅要依靠自身的特质，而且还要凭借其他一些事物带来的因果效应，我们称之为表现型。在我们这颗星球上，表现型很好识别，体现在基因能够影响到的动植物身上的部分上。这意味着全身上下所有的部件都包括在内。我们可以将表现型想象为成功基因为了进入下一代而利用的权力杠杆。更宽泛地来说，表现型可以被定义为影响到复制因子是否取得成功，但本身没有得到复制的复制因子所带来的结果。举例来说，太平洋岛屿上的一种蜗牛身上有一个特定的基因，能决定蜗牛壳上的纹路是顺时针螺旋还是逆时针。DNA分子本身并非右旋或左旋，但其表现型表现为右旋或左旋。在为蜗牛身体提供外部保护的问题上，顺时针蜗牛壳和逆时针蜗牛壳并不一定能取得同等的成功。因为暂居于壳内的蜗牛基因会影响到壳的形状，所以能制造出成功蜗牛壳的基因数量将会超越制造出不成功蜗牛壳的基因。蜗牛壳作为表现型，并不会直接产下子代蜗牛壳。每一个蜗牛壳都由

DNA决定，产下DNA的也正是DNA。

DNA序列通过或简单或复杂的一连串中间事件影响着其表现型，比如蜗牛壳上的纹路的旋转方向。所有这些中间事件，都可统一归入胚胎学。在我们这颗星球上，一连串中间事件的第一个环节永远都是蛋白质分子的合成。蛋白质分子的每一个细节，经由4个碱基的排列次序得到精确定义。但这些细节，很可能只在地球上有意义。更宽泛地来说，一颗星球无论通过哪个途径产出复制因子，其结果（表现型）都能通过复制因子制作拷贝的成功能力而获得有益效应。只要跨越了表现型临界点，复制因子就能通过表现型获得生存。在地球上，这些结果通常局限于基因所在的躯体之内，但事实不一定非要如此。延伸的表现型（我以此为题写了一整本书）原则规定，复制因子为了获得长期生存而利用的表现型权力杠杆，不一定要局限在复制因子“自身”的躯体之中。基因可以触及躯体之外，影响到外面的世界，包括其他躯体。

我不知道表现型临界点的普遍性究竟有多高。我猜想，在那些生命爆炸超越原始阶段的星球上，这一临界点已经被跨越了。我还猜想，我这份列表中的下一个临界点同样已经被跨越了，这就是三号临界点——复制者临界点。在某些星球上，这一临界点可能先于表现型临界点或与其同时被跨越。早期，复制因子可能就是自发的实体，在基因之河上游，和与其形成竞争的同样裸露在外的复制因子一同随水流沉浮。但是，地球上的现代DNA或蛋白质信息技术系统的一大特点，就是没有基因可以与世隔绝、独立起作用。基因发挥作用的那个化学世界，并非外部环境中孤立无援的化学世界。当然，这样一个世界构成了大背景，却是非常疏离的大背景。DNA复制因子所存在的那个环绕其周围、与生死存亡有必然关系的化学世界，是体积更小、浓度更高的一小袋化学物质——细胞。从某种角度来看，将细胞视作一袋化学物质存在误导之嫌，因为许多细胞都含有由层层叠叠的薄膜组成的精细的内部结构，在这些薄膜之上、薄膜之间和薄膜内部，发生着许多至关重要的化学反应。细胞的化学微观世界由数百个基因，甚至数十万个基因共同构成。每个基因都对环境有贡献，也都会为了生存对环境加以利用。基因以团队形式共同合作，我们在第1章中已从

一个不同的角度阐述了这一点。

地球上最简单的自发DNA复制系统是细菌细胞。这些细胞需要至少几百个基因来制造出所需的要素。非细菌的细胞被称作真核细胞，人体之中的细胞，以及所有动物、植物、真菌和原生动物的细胞，都是真核细胞。一般情况下，真核细胞拥有数万个到数十万个基因，所有基因都结成团队共同合作。正如我们在第2章中了解到的，真核细胞本身可能是从由五六个细菌细胞组成的、聚于一处的群体开始形成的。由于这属于更高等的团队合作形式，我们不在这里过多讨论。我想强调的是，所有基因的发挥作用的环境，是细胞中的基因联合形成的化学环境。

了解到基因以团队形式开展合作的事实之后，我们就很容易产生思维跳跃，并假设如今的达尔文主义选择是在呈竞争关系的基因团队中展开的，由此认为选择上升到了更高的组织层面。虽然这种想法非常有吸引力，但在我看来，却存在严重而深刻的错误。换一种说法，可能更能给人以启迪：达尔文主义选择依然会在呈竞争关系的基因之中展开，但得到偏好的基因是那些在其他基因存在的条件下，能够蓬勃发展的基因，而其他基因也会因彼此的存在而同时得到偏好。这就是我们在第1章中提到过的观点，即共享数字之河同一支流的基因倾向于成为彼此的“好伙伴”。

随着复制炸弹在星球上累积能量，下一个重要临界点很可能就是多细胞临界点，我们姑且称之为四号临界点。我们知道，在地球生命之中，任何一个细胞都是一个由化学物质构成的小小海洋，供一组基因在其中畅游。虽然细胞中包含整组基因，却是由其中的一部分基因构建起来的。细胞本身通过分裂来繁殖，分裂开来的小细胞会长大。每当发生细胞分裂时，基因组中的所有成员都会得到复制。如果两个细胞没有分离完全，而是保持彼此相连的状态，那么就有可能形成大厦，而细胞在其中扮演的角色就相当于砖瓦。

形成多细胞大厦的能力，在其他星球上可能和在地球上同样重要。当多细胞临界点被跨越之后，表现型就会出现，而其形状和功能只能表现在比单一细胞大得多的规模之上。鹿角或树叶，晶状体或蜗牛壳，所有这些都是由细胞组建而成的，但细胞并非这些庞然大物的

微缩版本。换句话说，多细胞器官与晶体的生长方式完全不同。至少在我们这颗星球上，生物表现出性状的成长过程更像是修建建筑物，而建筑物的形状与砖头并不相同。一只手有着特定的形状，但其并不是由手形细胞构建起来的。如果表现型的生长与晶体一致，则细胞本身也会是手形的。

多细胞器官就像建筑物一样，之所以能获得特定的形状和大小，是因为一层又一层的细胞（砖头）遵循着在一定时间停止生长的规则。从某种意义上讲，细胞也必须知道它们相对于其他细胞所处的位置。肝细胞的表现，就好像它们知道自己是肝细胞一样，而且还知道它们是位于肝叶的边缘还是中间位置。这些细胞究竟是如何做到这一点的，研究人员也投入了大量精力开展研究。其答案，很可能只适用于我们生活的这颗星球，在此不做更多探讨。无论具体细节是怎样的，其发展途径已经得到了完善。这一完善过程也是所有生命发展必经的：成功基因的生存是由其作用决定的。在这个案例中，作用就是与周边细胞相关，对细胞行为产生的影响。

下一个主要的临界点是高速信息处理临界点，也称五号临界点。在我们这颗星球上，这一临界点是通过一类叫作神经元或神经细胞的特殊细胞来实现的，我们可以称其为神经系统临界点。无论这一临界点在星球上是如何达到的，都非常重要，因为自此之后，行为的发展速度比基因通过化学权力杠杆运作的速度要快得多。捕猎者可以扑向晚餐，猎物可以为了逃生而躲避。它们用到的肌肉和神经系统，其动作和反应速度，比基因最初构建器官胚胎的折叠速度要快出太多。在其他星球上，绝对的速度和反应时间可能与地球大相径庭。但当复制因子建造起来的装备的反应时间比复制因子本身的胚胎活动时间快指数级倍数时，无论在哪一颗星球上，都标志着这一重要临界点被跨越了。而装备是否一定类似于我们在这颗星球上所称的神经元和肌肉细胞，则没有那么重要。一旦星球上相当于神经系统的临界点被跨越，最后很可能会有进一步的发展，复制炸弹蓄势待发。

这些进展中可能存在大规模数据处理单元的聚集，即“大脑”这种有能力处理复杂数据并将其以“记忆”形式储存起来的器官。而数据是由“感觉器官”收集并加以理解的。跨越神经元临界点所带来的另一个

更为复杂而神秘的结果，就是意识的形成。在此，我将意识的形成称为六号临界点。我们不知道意识临界点在地球上被跨越了多少次。有些哲学家认为，意识与语言有着至关重要的联系，而似乎只有两足的猿类物种“智人”发展出了语言。无论意识是否需要语言，我们都应该将语言设为一个重要门槛——七号临界点。在任意星球上，这一临界点可能被跨越，也可能没有被跨越。关于语言的细节问题，比如是否需要声音或其他物理媒介进行传输，就要看各个星球的具体情况了。

从这个角度来看，语言是一套联网系统，其中大脑进行的密切的信息交换，使得合作技术的发展成为可能。合作技术，从制造石器工具开始，继而进入金属冶炼、有轮的交通工具、蒸汽机和如今的电子时代，其本身就具备爆炸的诸多属性。由此可见，其出现也需要一个正式名称——合作技术临界点，或称八号临界点。事实上，有可能人类文化已经孕育出了一个全新的复制炸弹，并携带着一种全新的自我复制实体——模因。这是我在《自私的基因》一书中提出的概念。模因正在文化之河中以达尔文提出的自然选择方式不断增殖。现在，模因炸弹也许正在蓄势待发，与基因炸弹并行不悖，而基因炸弹是在之前设定好大脑，酝酿出模因的关键。这一话题对于本章内容来说有些太过庞大，我们必须回到星球爆炸的主题上，并予以重点关注：只要达到合作技术的阶段，那么这股力量早晚都会冲击到本行星之外。九号临界点——无线电技术就这样被跨越了。外星观察者从此之后就可能会注意到，这个星系有了一个新近爆炸的复制炸弹。

外星观察者首先捕获到的迹象，很可能是本行星内部通信过程中无意间泄露出去的无线电波。随后，复制炸弹的技术继承者可能自己就会将注意力转向外星系。人类朝这个方向迈出去的蹒跚步伐，也包括向太空发射为外星智慧生命特别定制的信息。在对外星智慧生命的本质毫不知情的情况下，我们怎么进行信息定制呢？很明显，这项任务难度很大，而且我们的努力很有可能会被曲解。

人们大部分的关注点都集中在让外星观察者相信我们的存在上，而不是向他们发送具有实质内容的信息。这一任务与我在第1章讲到的假想中的克里克森教授遇到的问题一样。他将质数导入了DNA，而利用无线电来做同样的事情，也是向其他星球证明我们存在的一个合

理的办法。音乐似乎是人类物种的一个更美好的广告方案，就算外星听众没有耳朵，他们也能用自己的方式去欣赏人类的音乐。

著名科学家兼作家刘易斯·托马斯（Lewis Thomas）建议我们将巴赫的音乐传向外星，而且只用巴赫的音乐。当然，他也有点担心这样的做法会有吹嘘之嫌。音乐也可能被有足够智慧的外星生命错误地理解为脉冲星的节奏性释放。脉冲星每隔几秒就会发出有节奏的无线电波脉冲。剑桥大学一个无线电天文学团队于1967年首次发现脉冲星时，还引起了轰动，人们以为这些信号是来自太空的外星人信息。但很快人们便意识到，还有一种更为稳妥的解释，那就是有一颗小恒星在以极快的速度旋转，向四周放射无线电波。直至今日，人类并没有收到来自地球之外的真实的通信信息。

在无线电波之后，我们能想象出来的复制爆炸向外部发展的唯一一步，就是真正的太空之旅——十号临界点。科幻小说作家一直在梦想着人类在星际间拓展殖民地，也构想出了用机器人去占领星球。这些星际殖民者可以被视为人类撒下的自我复制信息的种子。这些种子自身随后也可能发展成为向外散射的爆炸，形成卫星式的复制炸弹，将基因和模因传播开来。如果这样的愿景有朝一日成为现实，那么未来的克里斯托弗·马洛（Christopher Marlowe）在重提数字之河的话题时很可能会说："看，生命的洪水冲向了苍穹！"

直至今日，我们几乎还没有迈出走向太空的步伐。人类的确到过月球，虽然这一成就非常伟大，但从我们有朝一日可能遇见的外星人的角度来看，月球只是距离地球很近的一颗卫星，根本算不上什么太空旅行。人类也将几艘无人驾驶飞行器发往了太空深处，它们正沿着没有尽头的轨道向前飞行。受美国宇航员卡尔·萨根（Carl Sagan）的启发，其中一艘受飞行器上搭载了一段专门设计的信息，可由无意间遇到此飞行器的外星智慧生命所解码。这段信息编码了其创造者的图像，即一位裸体男性和一位裸体女性。

这就将我们带回到整个循环的起点，带入故事开始之时的古代神话。但这一对璧人并非亚当和夏娃，在他们优雅的身形之侧所保存的信息，是比《创世记》中的任何叙述都更有价值的生命大爆炸的证言。这块板子上用一种专门设计的符号化语言，记录了人类在某颗恒

星的第三颗行星上的《创世记》，并画出了这颗行星在银河系中的精确坐标。另外，人们还在这块板子上用符号化的形式记录了一些化学和数学的基本原理，进一步确立了人类的信誉。如果这一飞行器及其中的记录真的能被外星智慧生命所拾得，他们就会认为，制造此物的文明拥有超越原始部落迷信的智慧。他们会知道，茫茫苍穹之中曾存在过另一次生命爆炸，而这次爆炸还凝聚成了一个值得对话的文明。

但是，这艘飞行器在一秒之内途径另一个复制炸弹的可能性微乎其微。有些评论家认为，将这艘飞行器发送到外太空的价值，只是为地球上的人类提供一些启迪。双手摆出和平姿势的裸体男性和女性的图像被特意送往星际，来一场永无尽头的太空旅行，这是地球生命爆炸首次将知识成果向外太空输出。诚然，仅仅是想到这一点，就能为我们平素狭隘而渺小的意识带来些许益处。我们也似乎能从威廉·华兹华斯（William Wordsworth）那伟大而广博的观念中，从他对剑桥三一学院牛顿雕塑的诗意描述中，寻得些许回响：

枕上遥望，窗棂的星光，
依稀可见，教堂的门廊，
此处矗立，牛顿的塑像，
这张面庞，平静而安详，
石刻永存，伟大的思想，
独自一人，孤帆去远航。

未来，属于终身学习者

我这辈子遇到的聪明人（来自各行各业的聪明人）没有不每天阅读的——没有，一个都没有。巴菲特读书之多，我读书之多，可能会让你感到吃惊。孩子们都笑话我。他们觉得我是一本长了两条腿的书。

——查理·芒格

互联网改变了信息连接的方式；指数型技术在迅速颠覆着现有的商业世界；人工智能已经开始抢占人类的工作岗位……

未来，到底需要什么样的人才？

改变命运唯一的策略是你要变成终身学习者。未来世界将不再需要单一的技能型人才，而是需要具备完善的知识结构、极强逻辑思考力和高感知力的复合型人才。优秀的人往往通过阅读建立足够强大的抽象思维能力，获得异于众人的思考和整合能力。未来，将属于终身学习者！而阅读必定和终身学习形影不离。

很多人读书，追求的是干货，寻求的是立刻行之有效的解决方案。其实这是一种留在舒适区的阅读方法。在这个充满不确定性的年代，答案不会简单地出现在书里，因为生活根本就没有标准确切的答案，你也不能期望过去的经验能解决未来的问题。

湛庐阅读App：与最聪明的人共同进化

有人常常把成本支出的焦点放在书价上，把读完一本书当作阅读的终结。其实不然。

时间是读者付出的最大阅读成本
怎么读是读者面临的最大阅读障碍
“读书破万卷”不仅仅在“万”，更重要的是在“破”！

现在，我们构建了全新的“湛庐阅读”App。它将成为你“破万卷”的新居所。在这里：

- 不用考虑读什么，你可以便捷找到纸书、有声书和各种声音产品；
- 你可以学会怎么读，你将发现集泛读、通读、精读于一体的阅读解决方案；
- 你会与作者、译者、专家、推荐人和阅读教练相遇，他们是优质思想的发源地；
- 你会与优秀的读者和终身学习者为伍，他们对阅读和学习有着持久的热情和源源不绝的内驱力。

从单一到复合，从知道到精通，从理解到创造，湛庐希望建立一个“与最聪明的人共同进化”的社区，成为人类先进思想交汇的聚集地，与你共同迎接未来。

与此同时，我们希望能够重新定义你的学习场景，让你随时随地收获有内容、有价值的思想，通过阅读实现终身学习。这是我们的使命和价值。

湛庐阅读App玩转指南

湛庐阅读App结构图：



三步玩转湛庐阅读App：



App获取方式：

安卓用户前往各大应用市场、苹果用户前往App Store
直接下载"湛庐阅读"App，与最聪明的人共同进化！

使用App扫一扫功能，遇见书里书外更大的世界！



快速了解本书内容，
湛庐千册图书一键购买！

大咖优质课、
献声朗读全本一键了解，
为你读书、讲书、拆书！

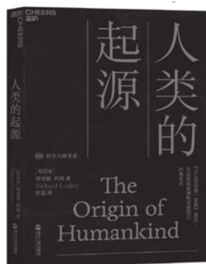
你想知道的彩蛋
和本书更多知识、资讯，
尽在延伸阅读！

延伸阅读

《人类的起源》

◎ 亲身挖掘化石的新鲜刺激，打破知识边界的大师视野，破解1000万年来的人类进化谜题。中国科学院院士金力，清华大学教授陈劲，世界著名哲学家丹尼尔·丹尼特联袂推荐！

◎ 作者理查德·利基作为“古人类学第一家族”的第二代成员，做出了不亚于父母路易斯·利基和玛丽·利基的伟大成就。由他撰写的《人类的起源》，既有亲身挖掘化石的新鲜刺激，又有家学渊源的深刻思辨，是人类进化史领域不可不读的经典著作。





《人类起源的故事》

◎ 一部重写人类简史的颠覆之作！古DNA科学家破译基因密码，揭示人类祖先的疯狂混血史。

◎ 《三体》作者刘慈欣、得到专栏作家万维钢、《枪炮、病菌与钢铁》作者贾雷德·戴蒙德真心推荐！

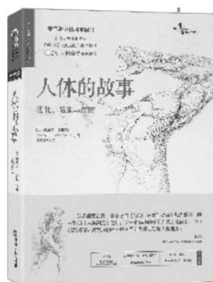




《人体的故事》

◎ 继《枪炮、病菌与钢铁》和《人类简史》之后，又一本讲述人类进化史的有趣著作！

◎ 倾听600万年的人体进化简史，了解人体每个部分的进化源头，寻找现代疾病的进化良方。趣味与严谨兼备，前沿与实用相融。

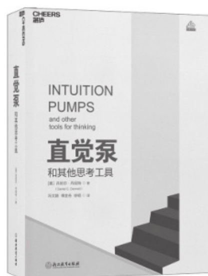




《直觉泵和其他思考工具》

◎ 有效思考，让你聪明，有效且正直地思考，让你智慧！哲学也可以反套路、反伎俩，一眼识破唬人的说辞。

◎ 《直觉泵和其他思考工具》集世界著名哲学家丹尼尔丹·尼特50年思考之精华，化繁为简、返璞归真，让你借助直觉的力量，不用数学就能思考难且复杂的问题。





---

(1) 在人类进化学说中，夏娃被认为是人类的共同母系祖先，而现今人类体内的线粒体都遗传自她，时间可追溯至20万年前。此前科学家曾对世界不同地区和民族的女性的线粒体DNA进行调查，最终确定现代人的线粒体来自距今15万～10万年的一位女性，这位母系祖先被称为“线粒体夏娃”。线粒体是一种微型细胞组织，其作用相当于人体细胞内的“能量工厂”，它们拥有自己的基因。线粒体内除包含很少发生变化的37个基因外，还包含一个“超变量”区域。每个人的线粒体都来自母亲，因此线粒体是从母系遗传的角度研究人类进化的重要工具，就像Y染色体是研究父系遗传的工具。——译者注

(2) 美国著名文化推动者、出版人，著名网站Edge的创始人，其主持编撰的大思考系列及大问题系列图书中文简体字版已由湛庐文化策划、浙江人民出版社出版。——编者注

(3) 世界著名哲学家、认知科学家、塔夫茨大学教授，其重量级著名《直觉泵和其他思考工具》中文简体字版已由湛庐文化策划，浙江教育出版社出版。——编者注

(4) 生机论认为有生命物质与无生命物质之间存在深刻的区别。

(5) 蛎鹬身形不大，与鸽子相仿。——译者注

(6) 计算机科学家，独树一帜的认知学家，其最新力作《表象与本质》中文简体版已由湛庐文化策划，浙江人民出版社出版。——编者注

(7) 我并无意冒犯。为了对观点予以论证，我在此引述著名物理学家约翰·波尔金霍恩（John Polkinghorne）发表于《科学与基督教信仰》上的一段话：“像理查德·道金斯这样的人可以向我们展示出富有说服力的图片，告诉我们微小的突变在筛选和累积的过程中可以形成大规模的适应，但是一位物理学家从直觉出发会想要看到一个估算，去了解从一个稍有光感的细胞变成一只完整的昆虫眼睛需要多少步，这种必不可少的突变需

要大概多少代，哪怕是大致的估算也行。”

(8) 著名哲学家、认知科学家、塔夫茨大学讲席教授，其最新力作《直觉泵和其他思考工具》中文简体字版已由湛庐文化策划，浙江教育出版社出版。——编者注

(9) 即太阳。——译者注